

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO

CRISTINA BIAZUS DANIELESKI

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMÍNICO DE AMBIENTES RESIDENCIAIS

SÃO LEOPOLDO

2018

Cristina Biazus Danieleski

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMÍNICO DE AMBIENTES RESIDENCIAIS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Profa. Dra. Maria Fernanda de Oliveira

São Leopoldo

2018

D184a

Danieleski, Cristina Biazus

Avaliação do desempenho lumínico de ambientes
residenciais / por Cristina Biazus Danieleski. – 2018.

136 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos
Sinos, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo,
São Leopoldo, RS, 2018.

“Orientadora: Dra. Maria Fernanda de Oliveira”.

1. Desempenho lumínico. 2. Luz natural. 3. NBR 15575. 4. UDI.
5. Residencial. I. Título.

CDU: 72:628.92

Cristina Biazus Danieleski

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMÍNICO DE AMBIENTES RESIDENCIAIS

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 23 de fevereiro de 2018

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Giane de Campos Grigoletti – UFSM

Prof. Dr. Daniel Reis Medeiros – UNISINOS

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria Regina e Rosalino, pelo ensino e exemplo de que o estudo e a dedicação podem transformar a vida das pessoas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), em especial aos professores do curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo pelas informações transmitidas. Principalmente, a minha orientadora, Dra. Maria Fernanda de Oliveira, por despertar em mim o interesse em relação à área do conforto ambiental, aceitar o tema proposto para este trabalho e me encaminhar de maneira profissional e amiga. Muito obrigada por sua disponibilidade e transmissão de seu conhecimento e de sua experiência.

Aos escritórios de arquitetura STA e TF, agradeço pela compreensão em relação ao tempo despendido por mim nas atividades pertinentes ao mestrado e pelo consentimento na utilização de projetos arquitetônicos neste trabalho. À Solus Incorporadora, Garibaldi Construções e Pérola Incorporações e Construções, meu agradecimento pela disponibilidade e auxílio.

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital – LASERCA –, vinculado à UNISINOS, pela realização de análises laboratoriais.

Ao Prof. Me. Julian Grub e seus alunos da disciplina de Conforto Ambiental II, do semestre 2017/2 da UNISINOS, pela grata experiência e pelo aprendizado adquirido no desenvolvimento do estágio docente realizado.

Ao Prof. Me. Marcelo Benetti C. Silva pela amizade, orientação e pela carta de recomendação ao Programa de Pós-Graduação.

Ao engenheiro eletricista e meu irmão, Rodrigo Biazus Danieleski, pelo auxílio com cálculos e gráficos.

Aos colegas do mestrado, que contribuíram com conhecimento em distintas áreas e com diferentes pontos de vista, engrandecendo as discussões em sala de aula. Agradeço, também, por tornarem esse período de estudos mais leve e agradável.

Agradeço a minha família pela paciência ao longo deste período de dedicação. Muito obrigada pelo amor, apoio e motivação incondicionais.

A todos aqueles que, de uma forma ou outra, compartilharam dessa trajetória e me incentivaram a concluir este projeto.

Por fim, agradeço a Deus, por iluminar meus caminhos na busca por meus objetivos.

“Quanto mais luz você permitir dentro de você, mais brilhante será o mundo
em que você viverá”.

(GAWAIN; KING, 1998, p. 230)

RESUMO

A utilização da luz natural pode contribuir com a redução do uso de iluminação artificial em ambientes internos e, conseqüentemente, diminuir a carga elétrica de edificações. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho lumínico de 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 e do método *Useful Daylight Illuminance* (UDI). Os objetos de estudo abrangeram os ambientes de cozinha e de área de serviço divididos em dois grupos: três modelos com iluminação natural de maneira direta e quatro modelos em que a cozinha foi iluminada de maneira indireta. Além disso, investigou-se a influência de elementos externos inerentes à edificação, como laje técnica e brise de proteção solar. As análises foram realizadas por meio de simulação computacional com o *software* DIALux e o *plug-in* Diva para Rhinoceros em quatro orientações solares: norte, sul, leste e oeste. A fim de alcançar resultados precisos, as refletâncias das superfícies internas foram obtidas por análise espectralradiométrica, que apontou maior capacidade de refletância dos revestimentos com cor branca. Com base nas análises realizadas pela NBR 15575, classificou-se como desempenho lumínico intermediário apenas a cozinha do modelo que possuía brise de proteção solar, à medida que todos os outros ambientes foram classificados como desempenho superior. Os resultados obtidos pelo método UDI indicaram a prevalência do intervalo autônomo nos modelos com iluminação de maneira direta e o intervalo suplementar nos objetos de estudo com luz natural obtida de maneira indireta. Com base nos modelos analisados nas duas etapas de simulação computacional, afirma-se que os ambientes que possuíam elemento externo obtiveram menores valores de iluminância. Em relação aos métodos de classificação da luz natural em ambientes internos, a iluminância no ponto do centro geométrico indicada pela normativa não coincidiu com a bancada da pia da cozinha, assim, não se teve a garantia do mesmo nível de desempenho lumínico nessa superfície, enquanto que o método UDI considera a iluminância média do recinto, abrangendo áreas com menor incidência de luz natural.

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

ABSTRACT

The use of natural light in indoor environments can contribute to reduce the artificial lighting and, as a result, to reduce the electrical load of buildings. The objective of this research was to evaluate the lighting performance in kitchen and service area environments of multifamily residential with different spatial configurations in the city of Porto Alegre - RS, using NBR 15575 Norm criteria and the Useful Daylight Illuminance (UDI) method. The study objects covered the kitchen and the service area into two groups: three models with direct natural lighting and four models in which the kitchen was illuminated indirectly. In addition, the research investigated the influence of external elements inherent to the building, such as technical slab and solar protection brise. The analyses were carried out through computer simulation with DIALux software and the Diva plug-in in Rhinoceros in four solar orientations: north, south, east and west. In order to achieve the most accurate results, the internal surface reflectances were obtained by spectroradiometric analysis, which indicated a higher reflectability of the white coatings. Based on the analyses carried out by NBR 15575 Norm, only the kitchen of the model that possessed sun protection brise was classified as intermediate lighting performance, as all other environments were classified as superior performance. The results obtained through the UDI method indicated the prevalence of the autonomous range in the models with direct lighting and the supplementary range in the study objects with natural light obtained indirectly. Based on the models analysed in the two stages of computational simulation, it is possible to state that the environments that had external elements obtained lower values of illuminance. Regarding methods of classification of natural light in indoor environments, the illuminance of the central point indicated by the normative did not coincide with the kitchen sink bench, therefore, the same level of light performance on this surface was not guaranteed, as the UDI method considers the average illuminance of the enclosure, covering areas with lower incidence of natural light.

Key-words: Performance. Natural light. NBR 15575 Norm. UDI. Residential.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectro eletromagnético	21
Figura 2 – Tipos de reflexão: (a) especular; (b) difusa; (c) composta	23
Figura 3 – Fenômeno de refração: (a) refração; (b) reflexão total; (c) dispersão	23
Figura 4 – Tipos de transmissão: (a) direta; (b) difusa; (c) semidifusa.....	24
Figura 5 – Tipos de céu: (a) claro; (b) parcialmente nublado; (c) nublado	26
Figura 6 – Níveis de iluminância de diferentes tipos de céu em terreno com atmosfera urbana	26
Figura 7 – Fatores que influenciam na iluminação natural interna	27
Figura 8 – Relação de altura para iluminação zenital: (a) maior valor de iluminância quando o plano de trabalho está próximo ao teto; (b) maior área de abrangência em função de teto mais alto	29
Figura 9 – Penetração de luz natural com abertura lateral.....	30
Figura 10 – Linhas de iluminação para mesma condição de céu, considerando aberturas: (a) vertical; (b) horizontal; (c) em paredes opostas; (d) em paredes adjacentes	30
Figura 11 - Penetração de luz natural com uso de prateleira de luz	31
Figura 12 – Comparação de iluminância para sistemas com e sem prateleira de luz	31
Figura 13 – Utilização de elemento prismático em abertura lateral.....	33
Figura 14 – Usos do painel prismático: (a, b) abertura lateral com sistema fixo; (c) lateral com sistema móvel; (d) abertura zenital com sistema móvel; (e, f) zenital com sistema fixo	34
15 – Aspectos relativos ao projeto de iluminação	37
Figura 16 – Ferramentas para previsão de iluminação natural	38
Figura 17: Efeito da radiação solar sobre o vidro	39
Figura 18: Transmitância de um vidro conforme o ângulo de incidência da radiação solar	39
Figura 19: Efeito da radiação solar sobre o vidro: (a) comum; (b) colorido; (c) refletivo	40
Figura 20: Comparativo de transmitância espectral para os diferentes tipos de vidro <i>low-E</i> em comparação ao vidro comum transparente	41
Figura 21 – Brise tipo colmeia: (a) aparência; (b) dimensões (mm)	49

Figura 22 – Revestimentos analisados: (a) amostra 01; (b) amostra 02; (c) amostra 03; (d) amostra 04; (e) amostra 05; (f) amostra 06; (g) amostra 07; (h) amostra 08; (i) amostra 09; (j) amostra 10	53
Figura 23 – Medição de refletância: (a) placa de referência; (b) superfície alvo	54
Figura 24 – Curvas espectrais das superfícies de piso: (a) amostra 01 – porcelanato acetinado cinza; (b) amostra 02 – porcelanato acetinado branco	60
Figura 25 – Curvas espectrais das superfícies de parede e teto: (a) amostra 03 – porcelanato acetinado branco; (b) amostra 04 – porcelanato polido branco; (c) amostra 05 – pintura em reboco semibrilho gelo; (d) amostra 06 – pintura em reboco acetinado branco	61
Figura 26 - Curvas espectrais dos acabamentos de porta e janela: (a) amostra 07 – MDF com pintura acetinada branca; (b) amostra 08 – PVC branco	62
Figura 27 - Curvas espectrais do acabamento da bancada da pia: (a) amostra 09 – granito polido preto; (b) granito polido verde escuro	63
Figura 28 – Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo D1, com base na NBR 15575	66
Figura 29 - Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo D2, com base na NBR 15575	67
Figura 30 - Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo D3, com base na NBR 15575	68
Figura 31 - Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo I1, com base na NBR 15575	69
Figura 32 - Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo I2, com base na NBR 15575	70
Figura 33 - Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo I3, com base na NBR 15575	71
Figura 34 – Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo I4, com base na NBR 15575	72
Figura 35 – Síntese de resultados conforme método da NBR 15575	72
Figura 36 - Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo D1	74
Figura 37 - Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo D2	75

Figura 38 – Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo D3.....	76
Figura 39 – Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo I1	77
Figura 40 – Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo I2	78
Figura 41 – Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo I3	79
Figura 42 – Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo I4	80
Figura 43 – Média de Iluminância obtida nos pontos da linha central dos ambientes dos modelos com iluminação direta	83
Figura 44 – Média de iluminância obtida nos pontos da linha central dos ambientes dos modelos com iluminação indireta	84
Figura 45 – Menor valor de iluminância obtido no centro geométrico de cada ambiente.....	85
Figura 46 – Maior valor de iluminância obtido no centro geométrico de cada ambiente.....	86
Figura 47 – Comparativo de iluminância do modelo I4 com refletância do piso original e alterado.....	87
Figura 48 – Gráfico comparativo entre iluminância no centro geométrico e iluminância média do modelo D3	88
Figura 49 – Comparativo de resultados obtidos em percentuais por meio do método UDI na orientação solar norte.....	89
Figura 50 – Comparativo de resultados obtidos em percentuais por meio do método UDI na orientação solar sul	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Refletância de cores e materiais (%).....	22
Tabela 2 – Refletância recomendada para superfícies internas (%)	28
Tabela 3 – Níveis mínimos de iluminância mantida e índice de reprodução de cor ..	36
Tabela 4 – Iluminância mínima do entorno	37
Tabela 5 – Fator de transmitância luminosa visível para diferentes tipos e composições de envidraçamentos	42
Tabela 6 – Características dos modelos de estudo com iluminação direta.....	47
Tabela 7 - Características dos modelos de estudo com iluminação indireta	48
Tabela 8 – Características das aberturas dos modelos de estudo.....	50
Tabela 9 – Níveis de iluminância para luz natural	51
Tabela 10 – Intervalos de iluminância do método UDI	52
Tabela 11 – Características das amostras de revestimentos utilizadas na análise de refletância.....	53
Tabela 12 – Quantidade mínima de pontos a serem medidos	56
Tabela 13 - Pontos mínimos de medição para os planos de trabalho.....	56
Tabela 14 – Pontos e malhas de medição utilizados nas simulações computacionais	57
Tabela 15 – Refletância visível obtida para cada amostra analisada.....	63
Tabela 16 - Amostras de revestimentos selecionadas e valores utilizados nas simulações computacionais.....	65

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
cd	Candela
cd/m ²	Candela por metro quadrado
CIE	<i>Comission Internationale de l'Eclairage</i>
CRE	Componente de Reflexão Externa
CRI	Componente de Reflexão Interna
E	Iluminância
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INU	Iluminância Natural Útil
IRC	Índice de Reprodução de Cor
ISO	<i>International Organization of Standardization</i>
K	Kelvin
L	Luminância
lm	Lúmen
lm/m ²	Lúmen por metro quadrado
lm/w	Lúmen/Watts
lx	Lux
mn	Micrometro
NBR	Norma Brasileira de Regulação
nm	Nanometro
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
R\$/MWh	Reais por megawatt-hora
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
TRY	<i>Test Reference Year</i>
UDI	<i>Useful Daylight Illuminance</i>
UDI-a	<i>Useful Daylight Illuminance - Autônoma</i>
UDI-e	<i>Useful Daylight Illuminance - Excedente</i>
UDI-f	<i>Useful Daylight Illuminance - Fell-short</i>
UDI-s	<i>Useful Daylight Illuminance - Suplementar</i>

UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>
W	Watt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa.....	17
1.2 Questão Norteadora	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo Geral	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Grandezas Físicas e Variáveis da Luz	20
2.2 Iluminação Natural	25
2.3 Iluminação Artificial	34
2.4 Vidros	38
2.5 Eficiência Energética	42
2.6 Desempenho Lumínico	43
3 MÉTODO.....	47
3.1 Objetos de Estudo.....	47
3.2 Critérios de Análise.....	50
3.2.1 Classificação de Desempenho Lumínico – NBR 15575	51
3.2.2 Classificação do Desempenho Lumínico – <i>Useful Daylight Illuminances</i>	52
3.3 Determinação das Refletâncias	52
3.4 Simulações Computacionais.....	55
3.4.1 Configurações de Pontos e Malhas de Medição	55
3.4.2 Parâmetros Adicionais.....	58
4 RESULTADOS.....	60
4.1 Refletância das Superfícies Internas	60
4.2 Desempenho Lumínico – NBR 15575	65
4.3 Desempenho Lumínico – <i>Useful Daylight Illuminances</i>	73
4.4 Síntese de Resultados	81
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS.....	94
ANEXO A – PLANTAS-BAIXAS REFERENCIAIS.....	99
APÊNDICE A – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO SOFTWARE DIALUX.....	101
APÊNDICE B – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM O <i>PLUG-IN</i> DIVA.....	106

APÊNDICE C – REFLETÂNCIAS: CURVAS ESPECTRAIS E TABELA COMPLETA DE RESULTADOS.....	109
APÊNDICE D – RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DA NBR 15575.....	116
APÊNDICE E – RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DO MÉTODO UDI.....	130

1 INTRODUÇÃO

A percepção visual do mundo está diretamente relacionada à luz. Vianna e Gonçalves (2001) afirmam que 70% da percepção humana ocorre de maneira visual. No ambiente construído, as mudanças de iluminação, tanto natural quanto artificial, alteram, também, o entendimento e as experiências dos indivíduos nos espaços. Na arquitetura, a iluminação tem importância tanto no sentido objetivo, na necessidade para a realização de determinadas tarefas, quanto no subjetivo, na intenção de criar efeitos e vivências específicas, por exemplo. (EGAN; OLGYAY, 2002).

O ritmo biológico e a distribuição hormonal dos seres vivos dependem essencialmente da luz natural. Embora exista tecnologia para que a iluminação artificial supra parcialmente a necessidade de exposição à luz, este tipo de fonte não apresenta ritmo, comprimento de onda e tons, inerentes à luz natural que trazem benefícios aos seres vivos. (PLUMMER, 2009).

A fim de suprir as demandas cada vez mais exigentes, o campo da iluminação precisou de adequações. Níveis mais elevados de luz passaram a ser exigidos em setores industriais, comerciais, educacionais e, inclusive, habitacionais. Assim, a iluminação tornou-se um elemento indispensável ao próprio progresso das cidades. (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Em resposta ao aumento da demanda, o uso de eletricidade chegou a níveis críticos. Utilizou-se a energia elétrica sem considerações de eficiência ao longo de 140 anos aproximadamente. Esse período representou o início do uso da eletricidade urbana, a partir da segunda década do século XIX até o início dos anos 1970, quando questões relativas à eficiência energética se tornaram relevantes no cenário internacional. (KEELER; BURKE, 2010; ROMÉRO; REIS, 2012).

Os primeiros movimentos sustentáveis visavam distintas questões como: recuperação de áreas degradadas e poluídas; adequada utilização de recursos naturais; e debate de temas ligados aos direitos humanos e ao desenvolvimento sustentável. Atualmente, também entram em debate questões sociais, como populações que vivem em situação de pobreza e com dificuldade de acesso à educação de qualidade e o consumismo exacerbado da sociedade. A eficiência energética está vinculada à identificação dos usos da energia e à limitação da demanda com o propósito de conservação da energia elétrica a fim de gerar

benefícios ambientais e econômicos. (KEELER; BURKE, 2010; LECHNER, 2009; ROMÉRO; REIS, 2012).

Assim, as edificações sustentáveis visam o eficiente consumo de recursos. Projetos que priorizam a luz e a ventilação natural, com base na análise da orientação solar e do microclima, bem como aqueles que preveem a captação de água da chuva para uso local e potencializam a reciclagem, tendem a otimizar a utilização destes recursos. Esses são exemplos de aspectos que devem ser avaliados ainda nas etapas iniciais de projeto a fim de atingir a eficiência energética. (EDWARDS, 2008).

1.1 Justificativa

No Brasil, atualmente, a maior fonte de produção de energia são as usinas hidrelétricas, que representam 71% da parcela total. Além disso, 14,2% da energia é produzida pelas termelétricas de carvão, óleo e gás natural, 12,8% por usinas de fontes renováveis (solar, eólica e de biomassa), 1,4% por usinas nucleares e 0,6% por outras fontes. (ONS, 2017). Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, a parcela de consumo de eletricidade do setor residencial, no ano de 2016, foi de 28,9% e estima-se que aumentará para 29,7% até o ano de 2026, sendo superado apenas pelo setor industrial. A eficiente avaliação de fatores como a utilização de fontes renováveis, a eficiência no uso de recursos hídricos e a otimização da iluminação natural em projetos arquitetônicos podem reduzir o consumo de energia elétrica e, consequentemente, reduzir o impacto no meio ambiente para sua produção. (EDWARDS, 2008).

No aspecto econômico, tem-se a relação entre o consumo e o valor energético. Na região sul do país, a tarifa média aumentou de R\$235,2/MWh, em 2013, para R\$409,3/MWh em 2015. Neste mesmo período, no setor residencial brasileiro, houve aumento de R\$285,2/MWh para R\$419,3/MWh, representando aumento de aproximadamente 47% na tarifa de consumo médio. (EPE, 2016). Esses dados indicam que o gasto com energia elétrica representa um importante item de avaliação nas edificações brasileiras.

Diferentes atividades requerem distintos níveis de iluminância conforme a especificidade das tarefas. No Brasil, a iluminância mínima necessária para

ambientes internos de trabalho é definida pela normativa NBR ISO-CIE 8995. Além disso, a norma indica níveis de ofuscamento e de índice de reprodução de cor para cada tipo de atividade. Em edificações residenciais, os ambientes de cozinha e de área de serviços são considerados locais laborais, pois são lugares em que se desenvolvem atividades específicas: em cozinhas há o manejo de instrumentos cortantes, a presença de extremos de temperaturas, como o calor do fogão e o frio da geladeira, e também a seleção de alimentos conforme sua qualidade; em ambientes de área de serviço é feita a limpeza de roupas, onde se requer um local sadio para a limpeza correta, a fim de que a saúde humana não seja afetada. Porém, não há normativa que indique os valores mínimos de iluminância para o plano de trabalho destes ambientes residenciais, gerando assim, dificuldade para projetar e qualificar estes recintos quanto aos níveis de iluminação.

A presença de um arquiteto qualificado no desenvolvimento de um projeto é fator importante para a eficiência dos sistemas da edificação. A utilização correta e eficiente da luz natural deve ser estudada desde a concepção do projeto arquitetônico, por meio de, por exemplo, análises de orientação solar, posição e dimensionamento de aberturas e especificação de sistemas de sombreamento. Além disso, o profissional pode desenvolver o projeto luminotécnico e definir aspectos técnicos a fim de reduzir o consumo e o gasto energético. Assim, o desenvolvimento técnico-profissional é relevante, pois o arquiteto que possuir conhecimento sobre o assunto poderá agregar maior valor ao projeto e gerar maior benefício a seus clientes.

1.2 Questão Norteadora

Como variáveis geométricas influenciam no desempenho lumínico com uso de luz natural em ambientes de cozinha e de área de serviço de edifícios multifamiliares?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho lumínico em diferentes configurações espaciais de ambientes de cozinha e de área de serviço de residências multifamiliares, na cidade de Porto Alegre - RS, de maneira comparativa, com base na NBR 15575 e no método de análise *Useful Daylight Illuminance* (UDI).

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) identificar os modelos para análise que sejam mais representativos de ambientes de cozinha e de área de serviço iluminados com luz natural de maneira direta e indireta de edifícios multifamiliares;
- b) relacionar as informações necessárias à modelagem dos objetos de estudo, como tipo de céu, refletância de superfícies e informações referentes à transmitância de vidros;
- c) investigar a influência de elementos externos inerentes à edificação, como superfícies de reflexão e brises de proteção solar, nos níveis de desempenho lumínico dos ambientes internos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A luz influencia a vida dos seres humanos e facilita a relação com o mundo físico. A orientação espacial é fundamental para o deslocamento e para o desenvolvimento das mais diversas atividades. A relação adequada e confortável entre o ser humano e a tarefa em desenvolvimento é objeto de estudo da ergonomia visual. Assim, o entorno visual deve ser claro para permitir que os fluxos diários sejam fluídos e seguros. (PLUMMER, 2009; KEELER; BURKE, 2010; LIMA, 2010).

A luz também está relacionada diretamente com o ciclo de crescimento de todos os seres vivos. A iluminação natural é fundamental para manter o ritmo biológico e a distribuição hormonal em equilíbrio. Nesse sentido, a luz sempre esteve presente ao longo dos diversos movimentos arquitetônicos ao longo da história. (PLUMMER, 2009).

Para entendimento de maneira adequada sobre o fenômeno da luz, bem como sua influência em ambientes construídos e no ser humano, o conhecimento de conceitos e de elementos relacionados ao tema torna-se relevante. Em ambientes internos, geralmente, a luz proveniente da iluminação natural apresenta maiores benefícios às pessoas. Porém, há situações em que se deve prever a utilização da iluminação artificial e, nesses casos, torna-se interessante a avaliação da eficiência dos sistemas utilizados.

2.1 Grandezas Físicas e Variáveis da Luz

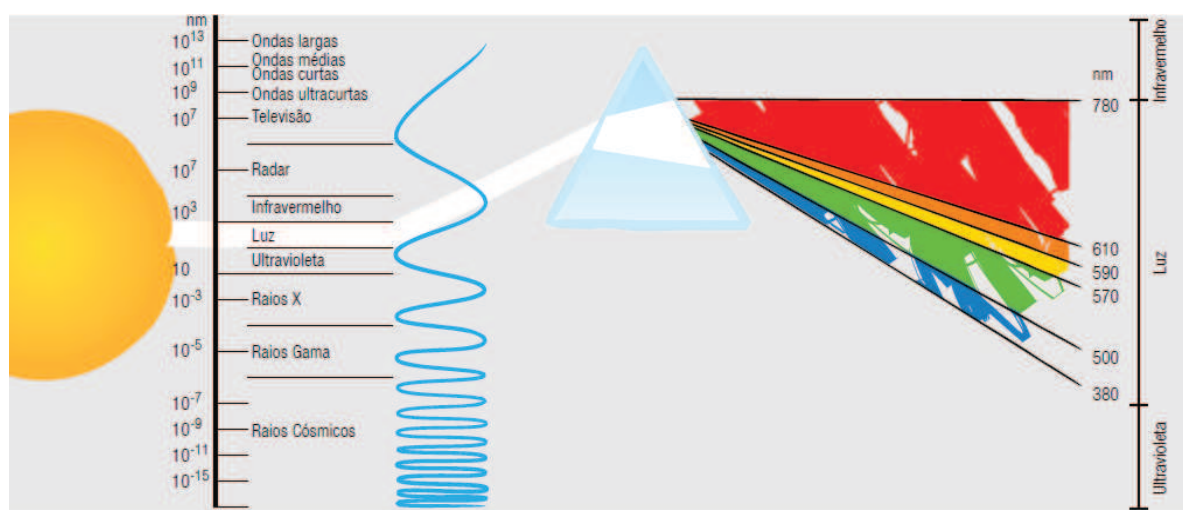
A luz é um dos fenômenos que permite que as pessoas enxerguem e percebam o mundo. Egan e Olgyay (2002) afirmam que a combinação do olhar e da interpretação formam a experiência visual, que pode mudar conforme a alteração da luz. Ideia que converge com Lima (2010), que afirma que os estímulos físicos permitem a visão nos seres humanos e as propriedades perceptivas permitem que o indivíduo tenha sensações em função desses estímulos. Assim, o entendimento dos aspectos físicos e das variáveis da luz são importantes para a compreensão da percepção humana.

Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1966) afirmam que há um nível de iluminação considerado confortável para cada tarefa desenvolvida. Para determinação da tarefa visual, deve-se levar em consideração diferentes aspectos

do processo visual e, além disso, deve-se atentar para o entorno da atividade, analisando a tarefa como um todo a fim de que o sistema de iluminação seja eficiente. (COSTA, 2000). Nesse sentido, os diferentes aspectos físicos presentes em um ambiente podem determinar o conforto visual.

A luz é definida como uma manifestação visual da energia radiante e é decorrente de uma perturbação nos campos elétrico e magnético no espaço. O conjunto destes fenômenos forma o espectro eletromagnético, que varia entre 100 nanômetros (nm), e 1 micrometro (mn). O espectro subdivide-se em radiação ultravioleta (abaixo de 380 nm), radiações visíveis ao ser humano (entre 380 e 780 nm) e radiação infravermelha (acima de 780 nm) (Figura 1). (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1966; COSTA, 2000).

Figura 1 – Espectro eletromagnético



Fonte: OSRAM (2017, p. 16).

Os principais aspectos físicos da luz a serem compreendidos são o fluxo luminoso, a iluminância (E), a intensidade luminosa, a refletância e a luminância (L). Fluxo luminoso é a radiação emitida por uma fonte luminosa, tanto natural quanto artificial, dentro dos comprimentos de onda entre 380 e 780 nm, ou seja, a radiação visível ao ser humano, e é expresso em lúmen (lm). A iluminância, ou ainda iluminação ou iluminamento, é a distribuição da luz sobre uma superfície, ou seja, a luz que incide sobre um determinado plano. Ela é medida por meio do fluxo luminoso pela área da superfície, ou seja, lúmen por metro quadrado (lm/m^2), unidade denominada como lux (lx). (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1966; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

O fluxo luminoso irradiado para um determinado ponto caracteriza a intensidade luminosa, que é medida em candela (cd). O estímulo visual no ser humano ocorre quando o olho capta a interação entre o fluxo luminoso e a superfície refletora. Quando a luz reflete em uma superfície em direção ao receptor, tem-se uma sensação de luminosidade. Denominada como luminância, essa sensação perceptível é o brilho físico de um objeto e pode ser medido, tendo como unidade a candela por metro quadrado (cd/m^2). Assim, uma mesma fonte de luz pode gerar diferentes valores de luminância em função da refletância da superfície analisada. (FREIRE, 1997; HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1966; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Caracteriza-se como reflexão a capacidade de uma superfície redirecionar o fluxo luminoso incidente e esse fenômeno é medido em porcentagem ou fator de unidade. Aspectos como cor e textura das superfícies interferem na capacidade de reflexão de um plano. De maneira geral, cores claras apresentam maiores valores de refletância do que cores escuras. (BROWN; DEKAY, 2004; COSTA, 2000; LIMA, 2010). A Tabela 1 apresenta uma comparação de valores de refletância para determinadas cores e materiais com base em alguns autores.

Tabela 1 – Refletância de cores e materiais (%)

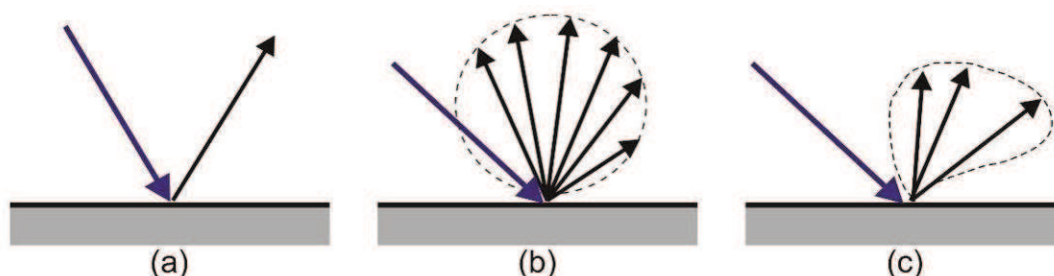
Cor	Vianna e Gonçalves	Brown e DeKay	Material	Vianna e Gonçalves	Santos
Branco	85-95	80-90	Aço inoxidável	55-65	40
Amarelo e rosa claros	30-70	80	Concreto	55	40
Bege e lilás claros	25-65	70	Madeira clara	13-34	40
Azul e verde claros	-----	70-75	Madeira escura	7-13	10
Azul e verde médios	-----	20-30	Tijolo	13-48	10
Cinza	25-60	-----	Ladrilhos de cortiça	-----	20
Preto	4-8	10	Vidro (incolor)	15	15

Fonte: Adaptado de Brown e DeKay (2004, p. 242), Santos (2014, p. 32), Vianna e Gonçalves (2001, p. 337).

Quanto à textura, em materiais opacos, a reflexão pode ser especular, difusa ou composta e caracteriza-se por não alterar os componentes da luz. A reflexão especular ocorre em superfícies lisas e altamente polidas e caracteriza-se por refletir a luz com o mesmo ângulo de incidência. A reflexão difusa reflete a luz de forma uniforme em diferentes direções e ocorre em superfícies ásperas. Já na reflexão composta (também denominada mista), há a mistura das duas anteriores, refletindo

no mesmo ângulo de incidência e também nos ângulos próximos. (FREIRE, 1997; COSTA, 2000). As reflexões descritas podem ser observadas na Figura 2.

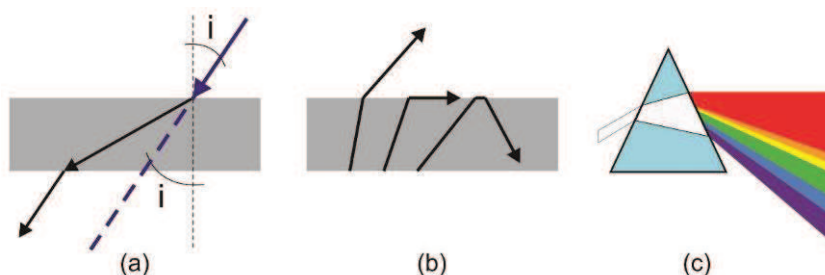
Figura 2 – Tipos de reflexão: (a) especular; (b) difusa; (c) composta



Fonte: Costa (2000, p. 41).

Materiais não opacos permitem a transmissão dos raios de luz entre os meios, e a característica das superfícies também influencia na maneira como esse fenômeno ocorre. A refração caracteriza-se pela “mudança de direção do raio de luz quando atravessa a superfície que separa dois meios de densidades diferentes”. (COSTA, 2000, p. 41). A mudança ocorre pela alteração de velocidade do raio de luz e pode ocorrer por dispersão ou por reflexão total. Dispersão é quando a luz que passa por uma superfície se decompõe nas cores que a formam, e reflexão total é quando o raio ultrapassa um valor crítico (Figura 3). Esse efeito pode ser gerado por prismas, lentes e alguns tipos de vidro. (FREIRE, 1997; COSTA, 2000).

Figura 3 – Fenômeno de refração: (a) refração; (b) reflexão total; (c) dispersão

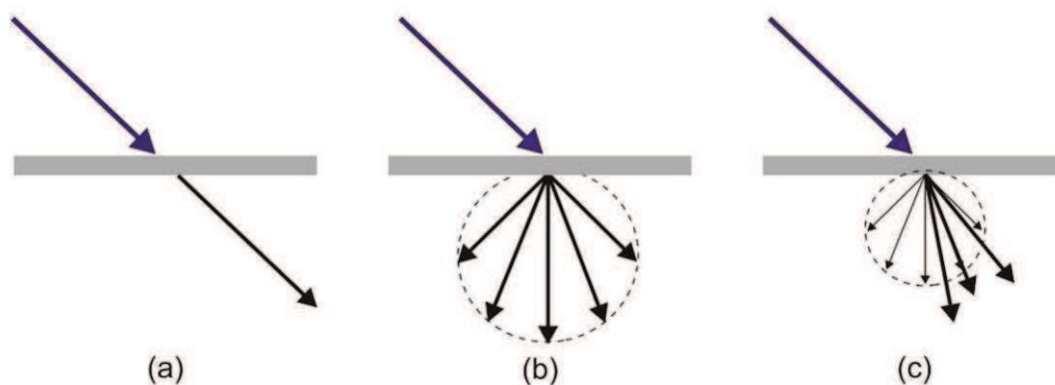


Fonte: Adaptado de Costa (2000, p. 41), Pereira (2017, p. 13).

Já a transmissão de luz ocorre sem a alteração do espectro e pode ser direta, difusa ou semidifusa (Figura 4). Na transmissão direta, há pouca alteração na direção dos raios incidentes. Materiais que apresentam texturas possuem a capacidade de distribuir a luz em diferentes direções, caracterizando a transmissão difusa. A transmissão semidifusa é uma junção dos efeitos anteriores. Assim,

denomina-se como transmitância a razão entre o fluxo luminoso transmitido e o incidente. (FREIRE, 1997; COSTA, 2000).

Figura 4 – Tipos de transmissão: (a) direta; (b) difusa; (c) semidifusa



Fonte: Pereira (2017, p. 35).

Há, ainda, outros dois conceitos importantes relacionados à luz: contraste e ofuscamento. Contraste é a “função da relação entre as luminosidades do objeto e do fundo” (COSTA, 2000, p. 58) e está relacionado diretamente com a percepção e com o desenvolvimento de atividades visuais. Keeler e Burke (2010) e Lamberts, Dutra e Pereira (2014) indicam que a relação mais adequada entre a tarefa e o plano de fundo deve ser de 3:1. Em casos nos quais o contraste é baixo, deve-se aumentar os níveis de iluminação a fim de facilitar o desenvolvimento de atividades.

Quando há um brilho muito intenso ou uma alteração rápida nos níveis de iluminação, tem-se uma sensação desconfortável nos olhos, denominada como ofuscamento. Pode ocorrer por contrastes excessivos (acima de 10:1) ou por saturação, quando se olha diretamente para uma fonte de luz, por exemplo. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1966) e Santos (2014) denominam esse fenômeno como encadeamento e o caracterizam como uma adaptação desfavorável à boa visão.

Assim, a percepção humana está diretamente relacionada a uma série de fatores que devem ser considerados quando há o intuito de proporcionar ambientes favoráveis ao desenvolvimento de atividades diárias. Esses fatores dizem respeito tanto à iluminação natural quanto à artificial e devem ser avaliados a fim de obter-se desempenho lumínico adequado.

2.2 Iluminação Natural

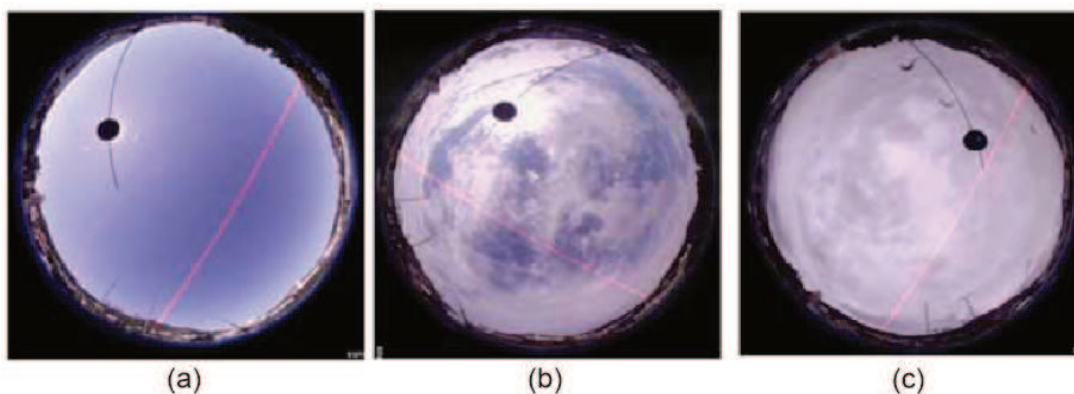
A luz natural apresenta qualidades únicas não encontradas em fontes artificiais, tais como mudanças e variações de luz, decorrentes de situações como diferentes épocas do ano e do estado do tempo, e possibilidade de modelagem e orientação dos espaços, que tem relação direta com a diferença de brilho ao longo do dia em função do movimento do sol. Além disso, a luz do dia é a que permite a percepção mais correta das cores, e, em relação à visão, os ambientes que possibilitam o contato com o espaço externo estimulam a consciência da relação entre o ambiente interno e seu contexto. (PHILLIPS, 2000).

Leder (2007) afirma que a luz natural é o resultado da combinação entre a luz do sol e a luz do céu e é a que proporciona maior qualidade de percepção do ambiente. Ideia que converge com Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1966), que afirmam que a luz do sol difundida na atmosfera é a fonte básica da iluminação natural de ambientes internos. Essa combinação faz com que os níveis de iluminação variem ao longo do dia. Para a iluminação de ambientes, evita-se a utilização da luz originária diretamente do sol, pois esta é uma fonte pontual e concentrada que pode elevar a carga térmica da edificação. (FREIRE, 1997).

A intensidade luminosa da luz natural pode variar conforme o tipo de céu. Há três tipos básicos: céu claro, céu encoberto ou nublado e céu parcialmente encoberto. Céu claro é aquele que não apresenta nuvens e que apenas a porção azul do espectro eletromagnético consegue alcançar a Terra. Além disso, a distribuição da luz no céu claro é maior no horizonte do que no zênite. Céu encoberto é aquele preenchido totalmente por nuvens e sua distribuição de luz é três vezes mais brilhante no zênite do que no horizonte. Em função da movimentação das nuvens, o céu parcialmente encoberto é o que possui diferentes valores de iluminação em toda a abóbada celeste. (ABNT, 2005; BROWN; DEKAY, 2004; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 15215 (ABNT, 2005), estabelece que a definição do tipo de céu deve ser feita pelo observador. Essa definição é realizada de maneira visual pela porção de nuvens no céu, estimada por porcentagem, na qual: em céu claro, há de 0 a 35% de nuvens; em céu parcialmente nublado, há entre 35% e 75%; em céu nublado, há entre 75 e 100% de cobertura de nuvens (Figura 5).

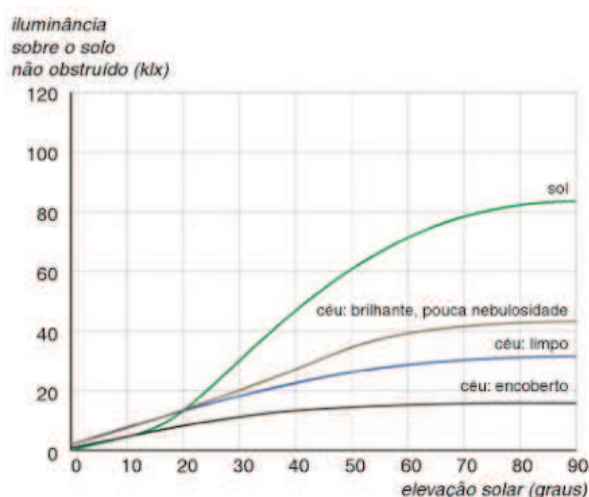
Figura 5 – Tipos de céu: (a) claro; (b) parcialmente nublado; (c) nublado



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 152).

Além de alteração conforme o tipo de céu, os valores de iluminância variam em função da posição solar, conforme observado na Figura 6, que retrata o iluminamento em terreno com atmosfera urbana na latitude de Londres (51° norte). O céu encoberto padrão CIE (Comitê Internacional de Iluminação, do francês, *Comission Internationale de l'Eclairage*) é a referência utilizada para a realização de cálculos de iluminação natural. (BROWN; DEKAY, 2004; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; TREGENZA; LOE, 2015).

Figura 6 – Níveis de iluminância de diferentes tipos de céu em terreno com atmosfera urbana



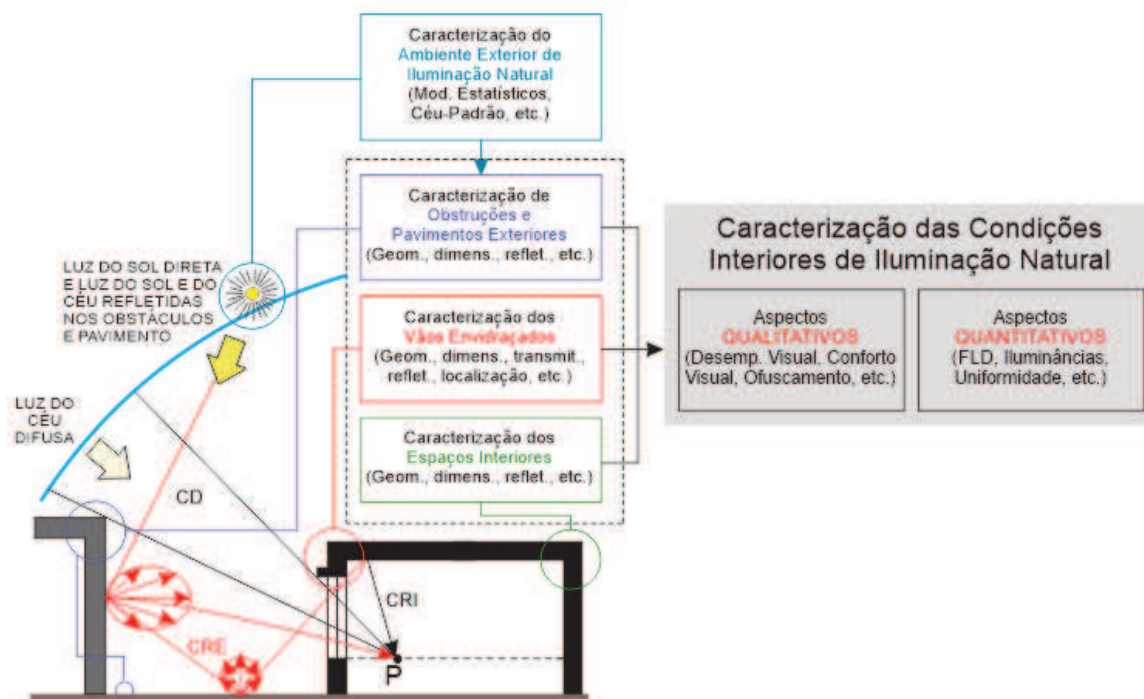
Fonte: Tregenza e Loe (2015, p. 61).

Ainda sobre a intensidade da luz natural, Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1966) afirmam que varia conforme o tempo, ou seja, em função do movimento aparente do sol, da hora do dia e da estação do ano. Já a luminância do

céu varia em função do movimento do sol e das alterações das nuvens; por isso, não é constante nem uniforme. Vianna e Gonçalves (2001) complementam que aspectos como as condições atmosféricas e a qualidade do ar também influenciam nos valores.

Em uma edificação, internamente, as condições de luz dependem de aspectos como condições do céu, período do dia e do ano, características das aberturas, componentes de reflexão externa (CRE), por exemplo, reflexão do solo e de elementos naturais ou construídos e de componentes de reflexão interna (CRI), conforme observado na Figura 7. (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1966; SANTOS, 2014). Dessa maneira, tanto os elementos externos quanto os internos influenciam na qualidade da iluminação de um ambiente. Ao trabalhar com iluminação natural em edificações, ainda no lançamento inicial, o projetista deve atentar-se a questões como: implantação, orientação solar, geometria da edificação, profundidade dos ambientes e posição e dimensionamento adequado de aberturas. (EDWARDS, 2008; KEELER; BURKE, 2010).

Figura 7 – Fatores que influenciam na iluminação natural interna



Fonte: Adaptado de Santos (2014, p. 11).

A luz refletida internamente apresenta grande contribuição nos valores de iluminação de um ambiente. Alguns autores indicam valores de refletância

considerados adequados para as superfícies internas, conforme observado na Tabela 2. Dentre as fontes comparadas, observa-se que os valores mais abrangentes são indicados pela NBR ISO/CIE 8995 (*International Organization of Standardization/ Comissão Internationale de l'Eclairage*). (ABNT, 2013b; BROWN; DEKAY, 2004).

Tabela 2 – Refletância recomendada para superfícies internas (%)

Superfícies	Vianna e Gonçalves	Brown e DeKay	NBR ISO/CIE 8995
Tetos	70	70-80	60-90
Paredes	50	40-80	30-80
Pisos	10-20	20-40	10-50

Fonte: Adaptado de ABNT (2013b, p. 4), Brown e DeKay (2004, p. 242), Vianna e Gonçalves (2001, p. 132).

Em função dos aspectos e fatores únicos da iluminação natural, ambientes que possuam apenas a luz do dia como fonte luminosa apresentam como característica a falta de uniformidade. Locais próximos das aberturas apresentam maiores índices de iluminação, que vão diminuindo conforme a profundidade do ambiente e afastamento das aberturas. A uniformidade caracteriza-se como um fator de qualidade do ambiente e pode ser mensurado. (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

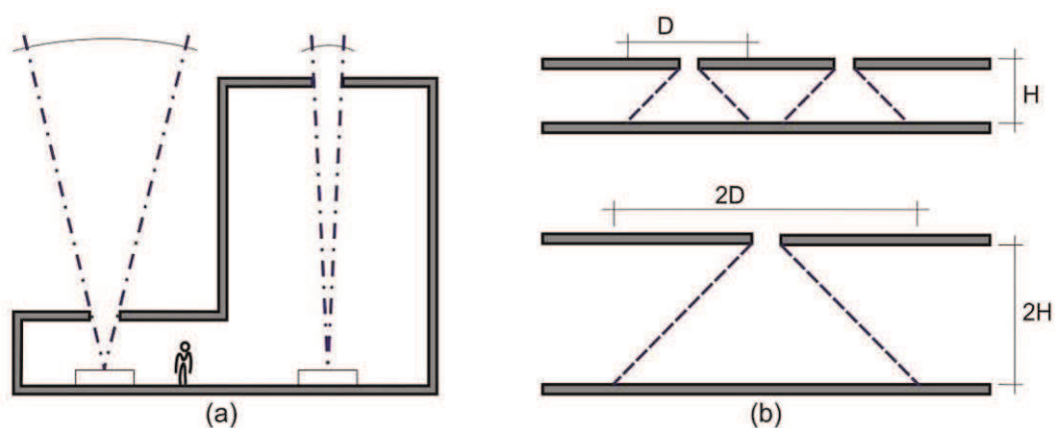
De acordo com a NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013b), uniformidade é o quociente da iluminância mínima encontrada no ambiente pela iluminância média. A norma especifica que, para que haja qualidade no ambiente, esse valor não deve ser inferior a 0,7, porém, não especifica se é considerado apenas a iluminação natural ou se é associado à artificial. Essa ideia é confirmada por Santos (2014), porém, o autor afirma que o valor 0,7 de uniformidade deve ser utilizado para sistemas de iluminação artificial. Em ambientes onde se considera apenas a luz natural, com aberturas envidraçadas em apenas uma parede, esse valor pode ser reduzido para aproximadamente 0,4 e nunca inferior a 0,2 a fim de evitar desconforto visual.

A iluminação zenital é o tipo de iluminação que permite maior uniformidade nos ambientes internos, bem como possibilita maiores valores de iluminância média, privilegiando o plano de trabalho. Como desvantagem, as aberturas zenitais podem receber radiação solar direta, influenciando na carga térmica. Além disso, para que o

sistema funcione de forma adequada, deve haver manutenção periódica a fim de evitar o acúmulo de poeira e sujeira. (FREIRE, 1997; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Para melhor aproveitamento desse tipo de iluminação, deve-se analisar a relação entre a abertura zenital e o plano de trabalho. Uma mesma área de abertura permitirá maior nível de iluminância sobre o plano de trabalho quando a zenital estiver mais próxima a ele. Porém, quanto mais alto o teto, maior será a área de abrangência da luz natural (Figura 8). (FREIRE, 1997; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Figura 8 – Relação de altura para iluminação zenital: (a) maior valor de iluminância quando o plano de trabalho está próximo ao teto; (b) maior área de abrangência em função de teto mais alto



Fonte: Adaptado de Freire (1997, p. 39 e 40).

A iluminação lateral tem como característica a diminuição de valores conforme aumento da distância em relação à abertura. Autores como Vianna e Gonçalves (2001), Lechner (2009) e Lamberts, Dutra e Pereira (2014) indicam que a eficiência da iluminação natural em profundidade pode ser considerada por meio da relação com a altura da parte superior da abertura. Assim, pode-se considerar 1,5 vezes a altura final da abertura como a profundidade máxima para obtenção de luz natural de maneira eficiente, conforme observado na Figura 9.

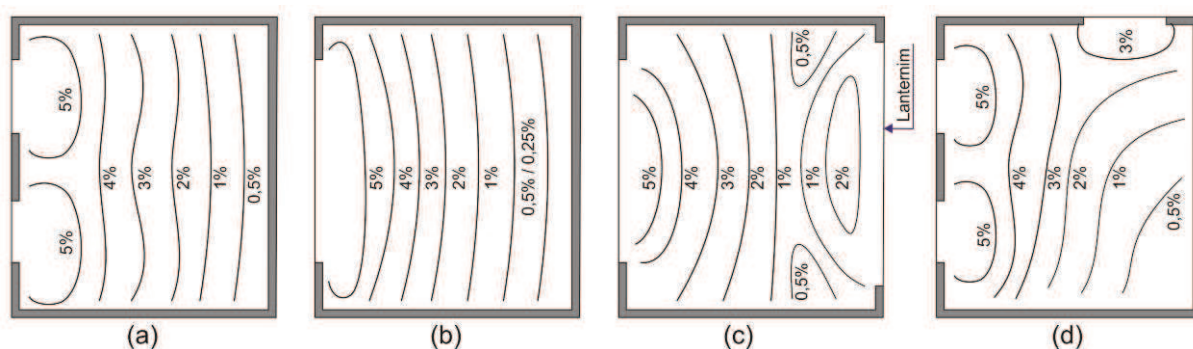
Figura 9 – Penetração de luz natural com abertura lateral



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 156).

Em relação à iluminação lateral, a posição e a dimensão das aberturas também influenciam na qualidade da iluminação interna. Aberturas altas e horizontais permitem uma distribuição mais uniforme que as baixas e verticalizadas (Figura 10). Além disso, as janelas baixas são restritivas, pois iluminam apenas parte do cômodo e abaixo do plano de trabalho das atividades, geralmente em torno de 75 cm acima do piso. As aberturas mais altas, além de melhorar a uniformidade, permitem maior penetração da luz natural. Já as aberturas intermediárias são as que melhor iluminam o plano de trabalho e permitem visual com as áreas externas, porém, a desvantagem é que podem permitir exposição solar direta. (FREIRE, 1997; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Figura 10 – Linhas de iluminação para mesma condição de céu, considerando aberturas: (a) vertical; (b) horizontal; (c) em paredes opostas; (d) em paredes adjacentes

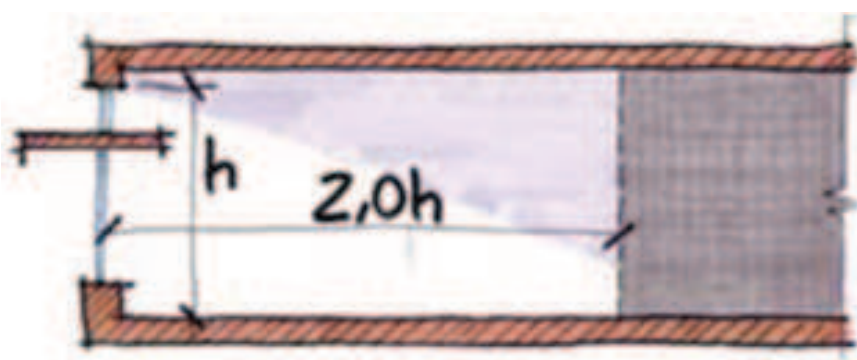


Fonte: Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1966, p. 535).

Como maneira de aumentar a penetração da luz natural nos ambientes internos, há elementos que podem ser incorporados na edificação. As prateleiras de luz permitem maior alcance e melhor distribuição da luz do dia e podem evitar

ofuscamento quando utilizadas acima do nível dos olhos. Com a utilização das prateleiras, a profundidade com luz natural de maneira eficiente passa de 1,5 para 2 vezes a altura superior da abertura, conforme observado na Figura 11. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; LECHNER, 2009).

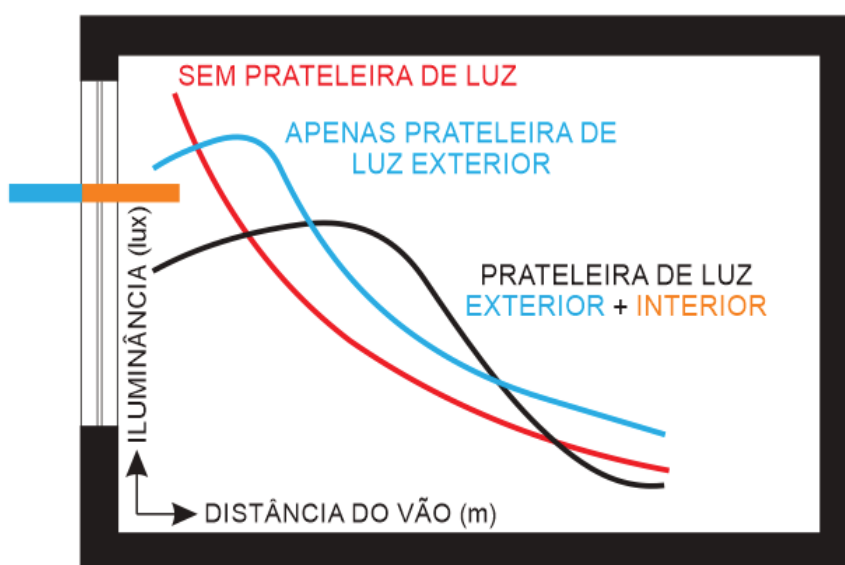
Figura 11 - Penetração de luz natural com uso de prateleira de luz



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 156).

As prateleiras de luz são estruturas horizontais adicionadas às aberturas; tanto as faces superiores como as inferiores podem ser utilizadas para reflexão da luz do dia para as áreas mais internas da edificação. Para maior eficiência da prateleira de luz, indica-se que seja utilizada tanto na parte externa quanto na interna, conforme observado na Figura 12. (VIANNA; GONÇALVES, 2001; SANTOS, 2014).

Figura 12 – Comparação de iluminância para sistemas com e sem prateleira de luz



Fonte: Adaptado de Santos (2014, p. 45).

A vantagem da utilização de prateleira de luz vem sendo comprovada em diferentes tipologias por distintos autores. Silva *et al.* (2002) avaliaram a utilização em ambientes de sala de aula, constatando que, embora em alguns momentos do dia o dispositivo não evite o ofuscamento, sua utilização permite a elevação dos valores de iluminância nas partes mais distantes das aberturas. Para solução do problema de ofuscamento, sugerem a utilização de prateleira de luz associada à veneziana. Netto, Barreto e Akutsu (2015) também desenvolveram estudo em sala de aula e concluíram que, para as condições analisadas, a economia de energia elétrica pode ser de até 20% no verão e de 56% no inverno com a utilização do dispositivo.

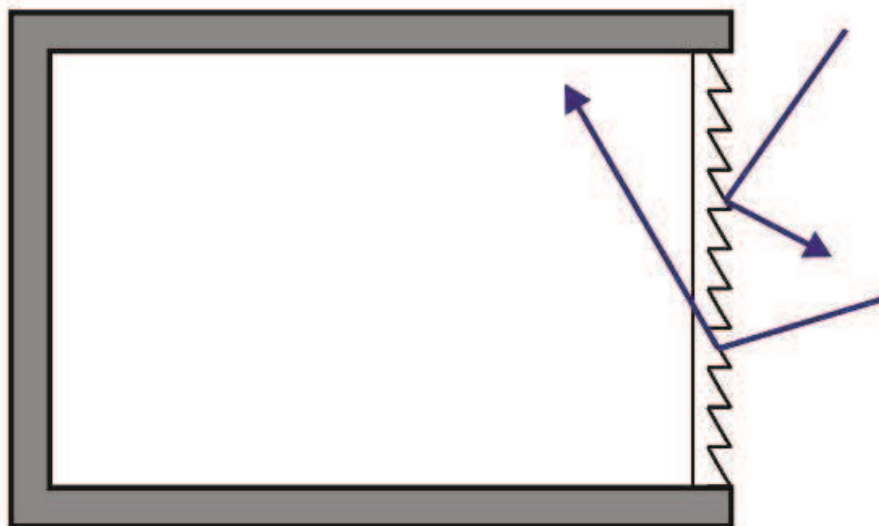
Para ambientes de escritório em São Paulo, Figueiredo e Pisani (2011) compararam a utilização de fachada cortina, brises e prateleira de luz. Os modelos que utilizavam a prateleira, tanto com vidro comum quanto com vidro de controle solar, apresentaram diferenças de iluminância menos abruptas no ambiente avaliado. Comparação entre modelos de escritório com e sem prateleira de luz também foi realizada por Maioli e Alvarez (2013). A utilização do dispositivo demonstrou resultados mais eficientes, inclusive quando utilizado com vidro reflexivo, vastamente encontrado na região de Vitória, onde foi realizado o estudo. Lim *et al.* (2012) estudaram o sistema em um prédio de escritórios do governo da Malásia. Para melhorar o desempenho lumínico, propuseram a utilização da prateleira juntamente com brises para evitar o ofuscamento.

Em edifícios altos, onde há pressão do vento, Choi, Lee e Kim (2014) avaliaram a utilização de prateleiras de luz externas com refletores perfurados. A variação de diâmetro analisada foi entre 4 e 10 mm, e constatou-se que quanto maior o diâmetro do furo, mais eficiente é o sistema. Kurtay e Esen (2015) analisaram, inicialmente, a relação entre latitude e altura interna do ambiente com uso de prateleira para um modelo padrão. O estudo se expandiu, e os autores desenvolveram novos modelos, relacionando diferentes latitudes com diferentes alturas internas e posição do dispositivo, comprovando a hipótese da relação entre esses aspectos de projeto. (KURTAY; ESEN, 2016).

As superfícies prismáticas também podem ser utilizadas com o objetivo de aumentar a eficiência da luz natural. O método consiste em “aumentar a dependência da transmitância visível em função do ângulo de incidência da luz do sol e, em especial, em função da altitude solar”. (SANTOS, 2014, p. 44). Assim, a

transmissão da luz ocorre por refração e, quando as superfícies prismáticas direcionam a luz para o teto, potencializam os níveis de iluminação em locais distantes das aberturas (Figura 13). (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

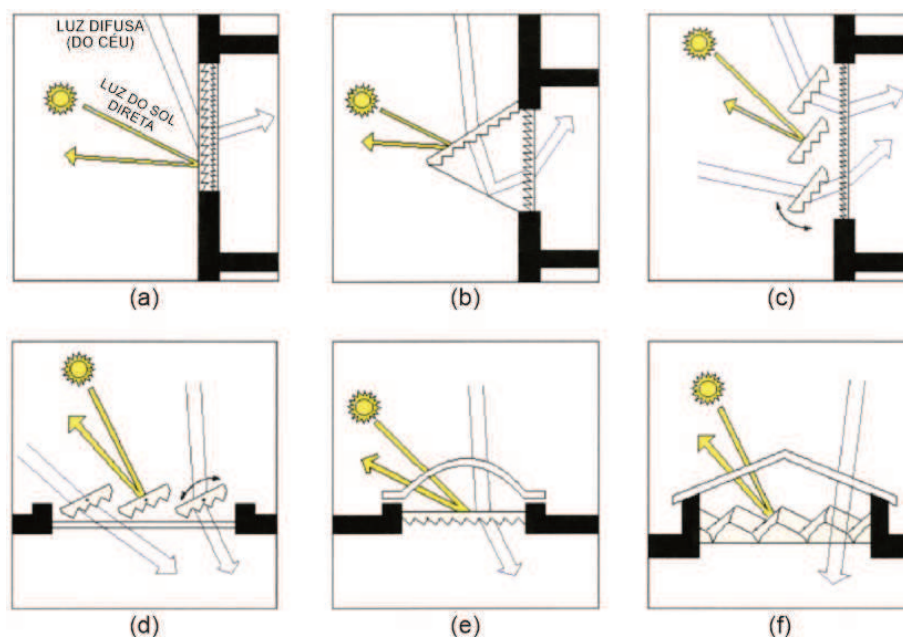
Figura 13 – Utilização de elemento prismático em abertura lateral



Fonte: Vianna e Gonçalves (2001, p. 148).

Como superfície prismática, pode-se empregar o vidro ou o acrílico, e recomenda-se a utilização acima da linha de visão em função de sua característica translúcida. O sistema apresenta como vantagens maior eficiência na captação da luz natural, redirecionamento para a parte mais interna do ambiente, bloqueamento da radiação solar direta e prevenção de ofuscamento. (SANTOS, 2014). A Figura 14 apresenta algumas possibilidades de uso do painel prismático em aberturas laterais e zenitais.

Figura 14 – Usos do painel prismático: (a, b) abertura lateral com sistema fixo; (c) lateral com sistema móvel; (d) abertura zenital com sistema móvel; (e, f) zenital com sistema fixo



Fonte: Santos (2014, p. 45).

A iluminação natural apresenta diversos benefícios que são únicos dessa fonte de luz. Quando utilizado apenas esse sistema de iluminação, a uniformidade é uma característica que deve ser considerada a fim de se obter qualidade lumínica do ambiente interno. Quando essa fonte de luz não supre as necessidades visuais de maneira eficiente e com qualidade, deve-se utilizar sistemas de iluminação artificial complementarmente.

2.3 Iluminação Artificial

Inicialmente, a luz natural era a principal fonte luminosa utilizada em edificações. Até a metade do século XX, limitações tecnológicas e econômicas não permitiam a utilização da iluminação artificial de maneira abrangente e atividades diárias eram realizadas próximas às aberturas para melhor utilização da luz natural. Altos níveis de iluminação artificial começaram a ser explorados em busca de eficiência industrial a partir da Segunda Guerra Mundial. Com o avanço tecnológico na área, a iluminação artificial passou a ser largamente utilizada em edifícios públicos, bancos, escritórios e residências. (LECHNER, 2009; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Alguns conceitos estão diretamente relacionados à iluminação artificial, como fluxo energético, eficiência luminosa, índice de reprodução de cor e temperatura de cor. Watt (w) é a unidade do fluxo energético que é a potência transportada no feixe energético, incluindo todas as radiações: luz visível, infravermelha e ultravioleta. O sistema de iluminação artificial utilizado e o nível de iluminância desejado no ambiente determinarão a potência do sistema. (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Eficiência luminosa, eficácia ou ainda rendimento, é uma relação entre potência de saída e a potência de entrada, ou seja, a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte (em lúmen) e seu fluxo energético (em watts), medido assim em lúmen/watts (lm/w). Essa grandeza é utilizada para comparação entre fontes de luz. Para ser eficiente, a fonte deve gerar luz com menor consumo de energia. (COSTA, 2000; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Denomina-se índice de reprodução de cor (IRC) a capacidade de uma fonte luminosa artificial em reproduzir cores. Essa reprodução de cores está diretamente relacionada à luz natural. O IRC é medido em porcentagem (%) e varia de 0 a 100, sendo que quanto mais próximo a 100, maior é o IRC, ou seja, a reprodução de cores através do sistema artificial apresenta-se o mais próximo à reprodução com a luz do dia. (COSTA, 2000; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Quando se coloca uma peça de ferro no fogo, esta adquire diferente coloração com o aumento da temperatura. É nesse fenômeno, a lei de Planck, que se baseia a temperatura de cor, que é a relação existente entre temperatura e cor da luz emitida, medida em Kelvin (K). Em aquecimento, uma peça de ferro tem coloração vermelha quando estiver a 800 K, amarela a 3.000 K e branca azulada a 5.000 K. Por meio de comparação, as lâmpadas com temperatura de cor próximas a 2.700 K são consideradas amarelas, como, por exemplo, as incandescentes, e quando próximas a 5.000 K são consideradas de aparência fria. (COSTA, 2000; EGAN; OLGAY, 2002; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

O sistema de iluminação artificial deve atender tanto a aspectos objetivos (como iluminação de tarefas específicas) como subjetivos, nos quais a percepção do ambiente se torna importante. Para casos subjetivos, pode-se utilizar diferentes temperaturas de cor: cores quentes são utilizadas quando se deseja um ambiente íntimo e aconchegante e cores frias quando se deseja um ambiente mais formal e ativo, como em locais de trabalho e onde se desenvolvem atividades específicas. (COSTA, 2000; PHILLIPS, 2000).

Para iluminação de tarefa, os níveis devem ser mais elevados quando se tratar de atividades com maior grau de dificuldade. Além disso, a idade também influencia nos níveis de iluminação de um ambiente: quanto mais idade tiverem os ocupantes, maior deve ser a luz do local. Assim, juntamente com a idade, a função desenvolvida no local é fundamental para a definição dos níveis de iluminação em diferentes ambientes. (PHILLIPS, 2000; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Phillips (2000) avalia que os valores de iluminação podem variar de níveis muito baixos a níveis muito altos. Para locais de armazenamento, o autor indica que 20 lx são suficientes, enquanto que em ambientes de escritório recomenda-se 500 lx e locais onde há montagens de precisão, como mesas de montagem industriais, indica-se 1000 lx. A NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013b) apresenta valores de iluminância mantida, ou seja, valores mínimos de iluminância média sobre a superfícies de trabalho. A Tabela 3 apresenta os valores mínimos e o índice de reprodução de cor para algumas atividades. Salienta-se que a NBR ISO/CIE 8995 não trata de ambientes residenciais, apenas de locais de trabalho.

Tabela 3 – Níveis mínimos de iluminância mantida e índice de reprodução de cor

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Iluminância mantida (lx)	IRC
Escritórios		
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	80
Desenho técnico	750	80
Estações de projeto assistido por computador	500	80
Salas de reunião e conferência	500	80
Recepção	300	80
Restaurantes E Hotéis		
Cozinha	500	80
Restaurante, sala de jantar, sala de eventos	200	80
Construções Educacionais		
Salas de aula, salas de aula particulares	300	80
Salas de aula noturnas, classes e educação de adultos	500	80
Quadro negro	500	80
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	80

Fonte: Adaptado de ABNT (2013b, p. 12 a 23).

A NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013b) também indica níveis mínimos que devem ser mantidos no entorno imediato à tarefa. Essa informação é importante,

pois contrastes elevados aumentam o esforço visual, causando desconforto. A Tabela 4 apresenta os valores de iluminância para o entorno das atividades.

Tabela 4 – Iluminância mínima do entorno

Iluminância da tarefa (lx)	Iluminância do entorno imediato (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área de tarefa

Fonte: ABNT (2013b, p. 5).

Sistemas de iluminação artificial devem ser pensados para atividades diurnas e noturnas. Porém, durante o dia, a luz artificial deve ser utilizada de maneira complementar à natural a fim de reduzir o consumo energético e evitar o ganho térmico em função de lâmpadas acessas por longos períodos. Para a elaboração de projeto de iluminação artificial, é necessário analisar alguns condicionantes (Figura 15). Dentre eles, é indispensável o entendimento de como a luz natural influencia no ambiente, para então projetar a artificial de maneira suplementar. Além disso, deve-se avaliar quais funções serão exercidas e quais pessoas irão interagir com o espaço para, então, definir a distribuição e as características das lâmpadas que serão utilizadas. (BROWN; DEKAY, 2004; SANTOS, 2014; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

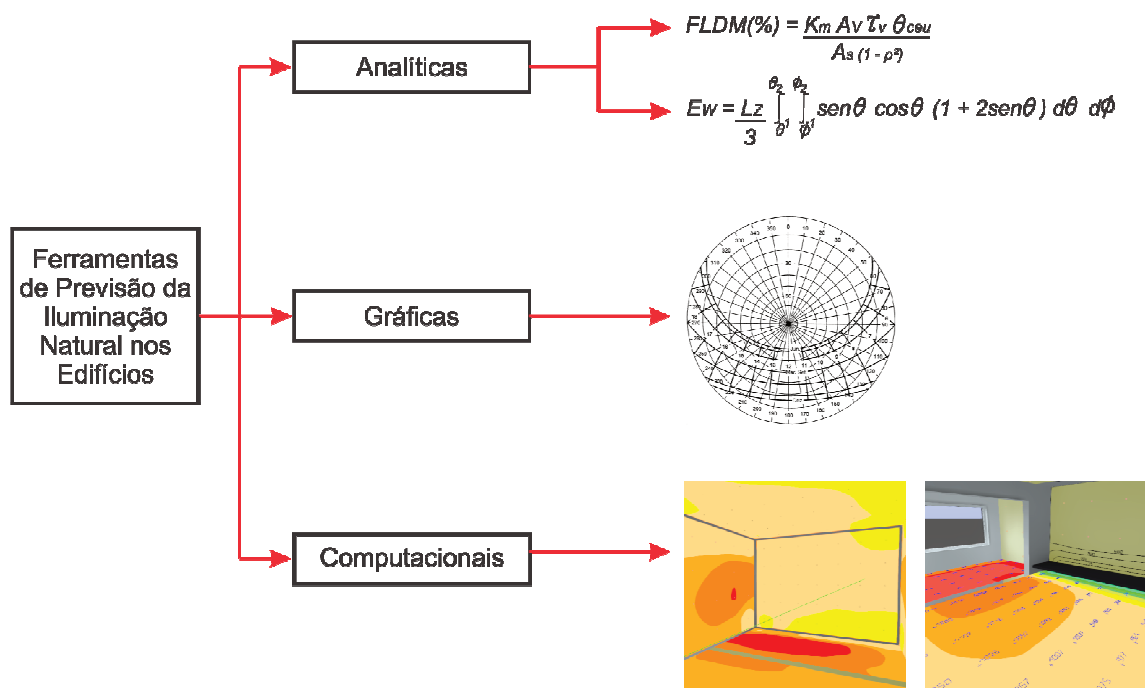
15 – Aspectos relativos ao projeto de iluminação



Fonte: Adaptado de Santos (2014, p. 9).

Há diferentes maneiras para avaliar a distribuição da luz natural em um ambiente. A Figura 16 apresenta ferramentas possíveis. Assim, pode-se prever em que pontos os níveis de iluminação artificial devem ser mais elevados, além de permitir a implantação de sistemas que possam ser parcialmente ligados conforme a necessidade. (KEELER; BURKE, 2010; SANTOS, 2014).

Figura 16 – Ferramentas para previsão de iluminação natural



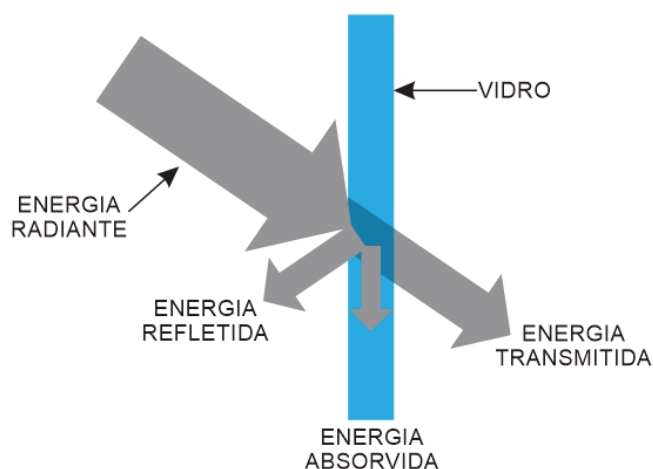
Fonte: Adaptado de Santos (2014, p. 30), Tregenza e Loe (2015, p. 197), e elaborado pela autora.

2.4 Vidros

Em uma edificação, dentre os fatores que influenciam a iluminação interna, as características relacionadas aos vãos envidraçados são aspectos que devem ser considerados. Além de dimensão, forma e orientação dos vãos envidraçados, é necessário o conhecimento da transmissão luminosa. (SANTOS, 2014).

O vidro é considerado um material transmissor luminoso, pois permite a passagem de luz. Nenhum tipo de vidro possui a capacidade de transmitir 100% da radiação solar incidente, pois, além de transmitir, o vidro reflete e absorve uma parcela da luz incidente, conforme observado na Figura 17. (EGAN; OLGAYAY, 2002; LECHNER, 2009).

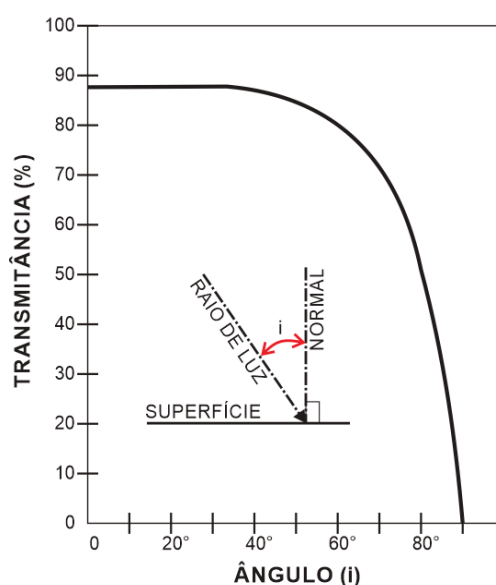
Figura 17: Efeito da radiação solar sobre o vidro



Fonte: Adaptado de Keeler e Burke (2010, p. 133).

A capacidade de um material transmitir luz, ou seja, a transmitância, depende de suas características em si, das condições da superfície e do ângulo de incidência da radiação solar. A transmitância do vidro é praticamente constante quando a radiação incide entre 0° e 45° e reduzida quando a incidência ocorre acima de 70° (Figura 18). O ângulo de incidência solar está relacionado à altitude solar. (LECHNER, 2009).

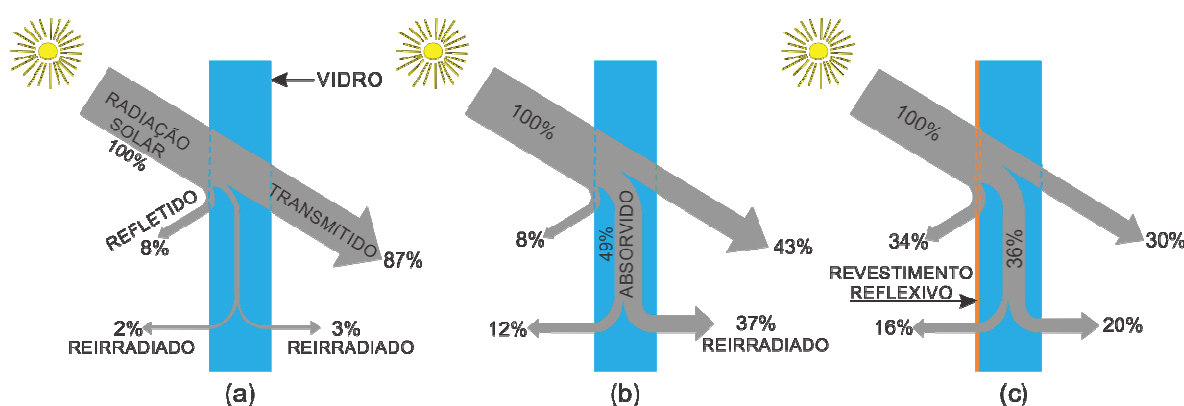
Figura 18: Transmitância de um vidro conforme o ângulo de incidência da radiação solar



Fonte: Adaptado de Lechner (2014, p. 248).

Até o final da década de 1980, os vidros transparentes, os coloridos, os refletivos e os vidros duplos eram os sistemas mais conhecidos. O vidro comum transparente é o material com maior valor de transmitância, geralmente acima de 80%. Já os vidros coloridos apresentam menor valor de transmitância para as ondas do espectro visível e podem causar distorção na percepção das cores. O vidro refletivo apresenta um fino revestimento em uma de suas superfícies que permite a passagem de menor radiação solar. (LECHNER, 2009; SANTOS, 2014). Na Figura 19, observa-se a porção de radiação solar que é transmitida, refletida e absorvida.

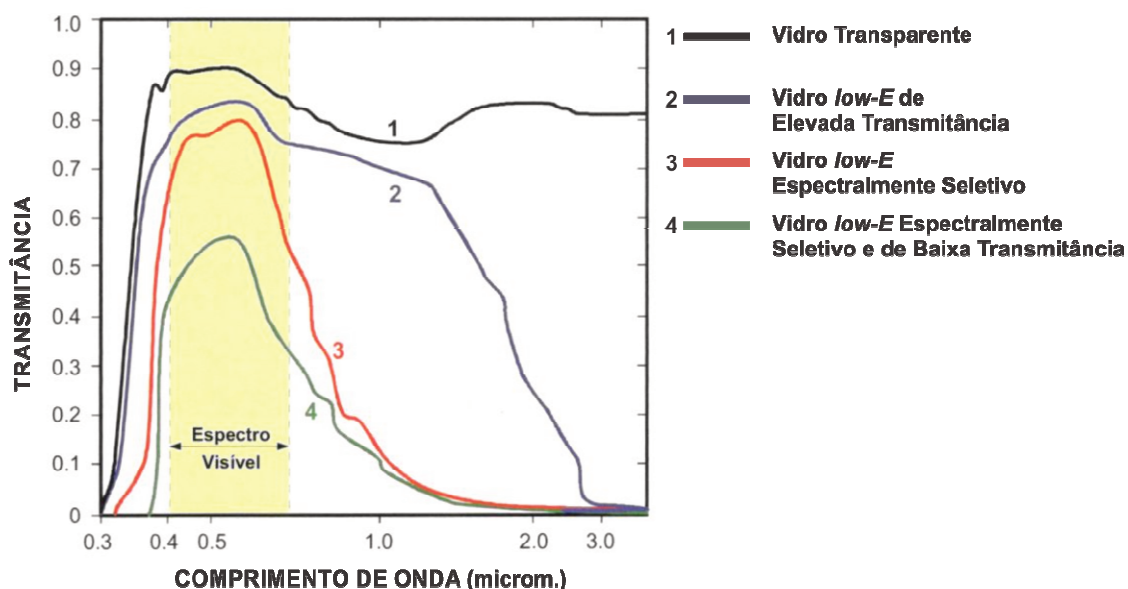
Figura 19: Efeito da radiação solar sobre o vidro: (a) comum; (b) colorido; (c) refletivo



Fonte: Adaptado de Lechner (2014, p. 247).

Com o intuito de reduzir custos energéticos, surgiram os vidros com baixa emissividade na década de 1980, denominados como *low-E*. Emissividade é a capacidade de um material irradiar energia e pode ser mensurado de 0 a 1. Quanto mais alto o valor, maior a capacidade de irradiação. (KEELER; BURKE, 2010; SANTOS, 2014). Na década de 1990, aprimorou-se a tecnologia dos vidros *low-E* e desenvolveu-se revestimentos espectralmente seletivos a fim de que pudessem ser usados em diferentes climas para melhorar o desempenho de fatores como aquecimento dos ambientes, iluminação natural e arrefecimento. Os três tipos de vidro *low-E* que compõem este sistema são: com transmissão elevada, com transmissão seletiva e com baixa transmissão. (KEELER; BURKE, 2010; SANTOS, 2014). Na Figura 20, é possível observar a curva espectral de transmitância dos vidros *low-E* em comparação ao vidro comum.

Figura 20: Comparativo de transmitância espectral para os diferentes tipos de vidro *low-E* em comparação ao vidro comum transparente



Fonte: Adaptado de Santos (2014, p. 37).

O sistema de envidraçamento inteligente, ou sistema com características óticas dinâmicas, responde às alterações de luz, calor e eletricidade, e é o sistema que apresenta tecnologia mais promissora. Quando os sistemas respondem à luz e ao calor, eles são considerados dispositivos passivos. Como dispositivos passivos, têm-se os materiais fotocromáticos, que alteram sua transparência em função da intensidade da luz, e os termocromáticos, que alteram sua transparência em resposta a diferentes temperaturas. (LECHNER, 2009; PHILLIPS, 2000; SANTOS, 2014).

Os vidros de cristais líquidos, os de partículas dispersas e os de eletrocromáticos são considerados dispositivos passivos e respondem à eletricidade. Os vidros de cristais líquidos possuem a capacidade de passar de aspecto transparente para o translúcido. Os vidros de partículas dispersas alternam seu valor de transmitância, tornando-se claros ou escuros, mas de maneira limitada. Os vidros eletrocromáticos, ainda disponíveis para utilização em áreas reduzidas, alternam largamente sua transparência, de 10 a 70% no espectro visível, e podem ser controlados de maneira automática ou manual. (LECHNER, 2009; SANTOS, 2014). A Tabela 5 apresenta os valores de transmitância luminosa para diferentes tipos e composições de envidraçamentos.

Tabela 5 – Fator de transmitância luminosa visível para diferentes tipos e composições de envidraçamentos

Tipo de Vidro	Espessura (mm)	Especificação	Cor	Tv ¹
Simples	6	-----	Incolor	0,89
Simples	6	Colorido	Azul	0,57
Simples	6	Colorido	Bronze	0,53
Simples	6	Colorido	Cinza	0,42
Simples	6	Refletivo	-----	0,25
Duplo	6+12+6	-----	Incolor	0,80
Duplo	6+12+6	Colorido	Azul	0,51
Duplo	6+12+6	Colorido	Bronze	0,47
Duplo	6+12+6	Colorido	Cinza	0,39
Duplo	6+12+6	Refletivo	-----	0,20
Duplo	6+12+6	Low-E	Incolor	0,70
Duplo	6+12+6	Low-E Espec. Seletivo	Incolor	0,68
Duplo	6+12+6	Low-E Espec. Seletivo	Azul esverdeado	0,50

Fonte: Adaptado de Santos (2014, p. 32).

2.5 Eficiência Energética

Sistemas de iluminação artificial são agentes importantes no consumo de energia elétrica, principalmente em edifícios comerciais e públicos, sendo superados apenas para o consumo de ar-condicionado. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Vianna e Gonçalves (2001) afirmam que a luz artificial pode ser responsável por até 50% do consumo de energia em ambientes de escritório, de 20% a 30% em hospitais e de 10% a 15% em escolas. Em prédios públicos no Brasil, 70% do consumo energético é utilizado em sistemas de iluminação e climatização, conforme o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. (PROCEL, 2017).

O setor energético impacta nos campos econômico e ambiental. Economicamente, há o aumento de custos, desde o desenvolvimento de energia até o consumidor final. Novas tecnologias e implantação de distribuidoras de energia representam grandes investimentos, bem como o aumento da demanda de energia implica em maior produção e, conseqüentemente, em elevação de custos, que geralmente são repassados aos consumidores finais. Ambientalmente, o impacto do setor energético também ocorre em todo seu desenvolvimento. Embora sejam

¹ Tv – Transmitância luminosa difusa.

utilizadas fontes renováveis, as diferentes formas de produção de energia têm participação em problemas ambientais, tais como: poluição do ar urbano, chuva ácida, efeito estufa e mudanças climáticas, desflorestamento e desertificação, possibilidade de extinção de matérias-primas como o petróleo e o carvão, degradação marinha e costeira, alagamento e contaminação radioativa. (COSTA, 2000; ROMÉRO; REIS, 2012).

A integração entre sistemas artificiais e a luz natural pode representar economias de 30% a 70% no consumo energético. Essa associação é necessária para conservação de energia, conceito entendido como economia e fim do desperdício. A conservação de energia também implica em fatores como a utilização de equipamentos mais eficientes, educação da população para uso consciente da energia e de novas tecnologias, além de proteção ambiental. Porém, encontram-se barreiras para o aumento dos níveis de eficiência energética nesses fatores, tais como incertezas e falta de conhecimento avançado sobre vantagens de novas tecnologias, disponibilidade de recursos e falta de informação da população. (COSTA, 2000; ROMÉRO; REIS, 2012; VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Estratégias políticas e gerenciais, bem como a utilização de novas tecnologias, são maneiras de aumentar a eficiência energética. Dentre as estratégias, destacam-se os programas educacionais voltados à conscientização da população, programas de incentivo ao uso de fontes alternativas e políticas de certificação ambiental, que fornecem selos confirmando a utilização de estratégias energéticas nos processos de projeto e de construção, seja de edificações como de espaços urbanos. Medidas preventivas, substituição de equipamentos e processos por modelos e métodos mais eficientes, bem como a redução de perdas de energia, são fundamentais para a eficiência energética. A conservação de energia contribui com o meio ambiente, com a economia e, conseqüentemente, com a qualidade de vida. (COSTA, 2000; ROMÉRO; REIS, 2012).

2.6 Desempenho Lumínico

Estudos, na área de iluminação, indicam a importância da utilização de luz natural e sua relação com ambientes internos. A indicação da profundidade limite para o desempenho lumínico de ambientes residenciais foi realizada por Albuquerque e Amorim (2012). Por meio de simulações computacionais para 11

cidades brasileiras, para os modelos avaliados, obteve-se, como profundidade limite, a relação de 2,57 vezes a altura da janela para ambientes sem proteção solar nas aberturas e de 2,95 vezes para ambientes com proteção. Laranja, Alvarez e Matarangas (2013) também avaliaram esse aspecto, porém, com relação à orientação das aberturas para a cidade de Vitória. Para céu encoberto, a profundidade limite observada foi de apenas 1,00 m, e, para céu parcialmente nublado e céu claro, os valores variaram entre 1,50 m e 2,00 m.

Didoné e Pereira (2010) avaliaram a eficiência energética em edifícios não residenciais com o aproveitamento da luz natural. Quanto à geometria, resultados indicaram que ambientes menos profundos e mais altos são mais eficientes, confirmando, assim, a relação entre consumo de energia e o inverso da profundidade do ambiente. Em relação às aberturas, Sousa e Amorim (2014) investigaram a influência do dimensionamento de aberturas laterais no contexto do Distrito Federal, com base nas indicações do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Dentre os resultados obtidos, aberturas na proporção de 1/8 da área do piso atenderam aos critérios de desempenho.

Sacht *et al.* (2012) avaliaram diferentes tipos de vidro para cidades de Portugal, indicando, como melhor resultado para o objeto em estudo, a utilização de vidro duplo autolimpante. Envoltórias com vidros de controle solar e dispositivos de sombreamento foram avaliados por Felipe (2016). O estudo indicou que os melhores resultados de desempenho luminoso ocorreram para os modelos que apresentavam controle de sombreamento, pois foram capazes de difundir a luz natural no ambiente, diferentemente dos vidros que apenas alteram a intensidade da energia transmitida.

Sardeiro e Rotta Neto (2012) avaliaram o desempenho luminoso de salas de aula na cidade de Maringá, concluindo que apenas a iluminação natural não apresentou níveis de iluminância adequados para o ambiente. O estudo ainda apontou, por meio de questionários, que os usuários não tinham percepção dos baixos níveis de iluminação. Resultados abaixo de níveis recomendados pela NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013b), para salas de aula, também foram obtidos por Ventorim *et al.* (2014) em estudos para a cidade de Vitória. Foram comparados resultados medidos *in loco* e a percepção dos usuários, comprovando-se que o conforto visual não era alcançado.

As zonas de iluminação natural para definição dos sistemas artificiais e sua relação com o consumo de energia elétrica foram estudados por Rocha e Pereira (2012) e Moraes e Claro (2013). Resultados indicaram que o zoneamento reduz o gasto energético, obtendo-se economia de até 46% em um dos casos analisados. Além disso, Parise e Martirano (2013) avaliaram a influência das zonas de trabalho para definição da iluminação artificial de maneira mais adequada.

Estudo realizado com simulação computacional para a cidade de Vitória constatou a influência da orientação das vias no desempenho lumínico de ambientes internos. (LARANJA; CABÚS; GAZZANEO, 2012). Já a interferência de edificações no acesso à luz natural foi avaliada em estudo realizado com dados do plano diretor da cidade de Porto Alegre. Pela simulação computacional, chegou-se à conclusão de que parcelamentos regulares, com 5 pavimentos e taxa de ocupação de 75% são os que apresentam maiores impactos negativos no desempenho lumínico interno. Além disso, constatou-se que edificações altas com taxa de ocupação reduzida permitem bons níveis de acesso à luz natural. (SCALCO; PEREIRA, 2015).

Normatizações nacionais e internacionais visam padronização e desempenho de edificações. No Brasil, a NBR 15575 tem como objetivo o desempenho das edificações e de seus sistemas, ou seja, busca avaliar se a edificação cumpre sua função de forma satisfatória. O desempenho lumínico, um dos fatores da norma, indica níveis mínimos satisfatórios de iluminação, tanto natural quanto artificial, para adequada utilização dos ambientes de maneira segura e cômoda. (ABNT, 2013a). Poli e Zorzi (2014) compararam, inicialmente, as versões da NBR 15575 de 2008 e 2013 e, posteriormente, a NBR 15575 com a *Danish Building Regulations* 2010 e com a *European Standard prEN 15251*. De maneira geral, concluiu-se que a norma brasileira é mais genérica que as internacionais por não estabelecer valores em função de diferentes atividades. Já Oliveira e Hippert (2014) compararam a NBR 15575 (ABNT, 2013a) com o processo de certificação de edificações de Alta Qualidade Ambiental (AQUA), concluindo que a grande maioria dos critérios referidos na norma brasileira já estão inseridos no programa de certificação.

O método de análise *Useful Daylight Illuminances* (UDI), ou Iluminância Natural Útil (INU), analisa as diferentes nuances da luz natural ao longo do dia e dos meses. O UDI é considerado um método baseado no clima, pois utiliza das condições de sol e de céu ao longo do dia e dos meses, considerando, assim, a luz natural ao longo de um ano completo. O objetivo do método é avaliar quantas vezes,

ao longo de um ano, a iluminância alcança valores dentro de um determinado intervalo no plano de trabalho. (MARDALJEVIC *et al.*, 2011; MARDALJEVIC; NABIL, 2006).

Considera-se intervalo útil os valores de iluminância encontrados na faixa de 100 a 3.000 lx ($100 \leq E \leq 3.000$). Esse intervalo útil se dá em função de que valores muito baixos são considerados insuficientes para a realização de tarefas e de que valores muito elevados podem causar desconforto visual e térmico. Valores abaixo de 100 lx ($E \leq 100$) são considerados insuficientes (ou iluminância *fell-short* - UDI-f). Entre 100 e 300 lx ($100 \leq E \leq 300$), considera-se como iluminância suplementar (UDI-s), pois pode-se utilizar a iluminação artificial de maneira complementar. Entre 300 e 3.000 lx ($300 \leq E \leq 3.000$), tem-se a iluminância autônoma (UDI-a), com valores desejados, em que geralmente não há necessidade de iluminação artificial para complementação. Por fim, valores acima de 3.000 lx ($E \geq 3.000$) são considerados como iluminância excedente ao intervalo útil (UDI-e). (MARDALJEVIC *et al.*, 2011; MARDALJEVIC; NABIL, 2006).

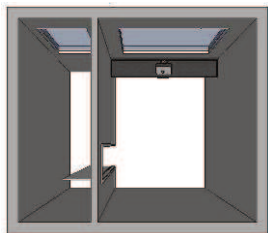
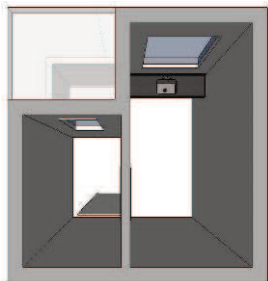
Em estudo de caso realizado para a cidade de Maceió, Nascimento e Batista (2016) realizaram simulações para ambiente residencial a fim de avaliar o desempenho lumínico conforme a NBR 15575 e o método UDI. Com o objetivo de gerar critérios de análise, associou-se o método UDI aos itens do RTQ-R. As simulações foram realizadas nas orientações norte, sul, leste e oeste e os resultados obtiveram níveis diferentes de desempenho nos dois sistemas: de acordo com a normatização, a classificação foi superior em todas as orientações e, pelo método UDI, a classificação obtida foi intermediária. Os autores complementam que os resultados 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 que podem ser importantes para análise de projeto.

3 MÉTODO

3.1 Objetos de Estudo

Os objetos de estudo utilizados para análise tiveram como base projetos arquitetônicos reais (ver plantas-baixas originais referenciais no Anexo A), e buscou-se configurações com geometria retangular, porém de diferentes proporções. Foram selecionadas propostas de projetos multifamiliares em que a iluminação natural dos ambientes de cozinha e de área de serviço ocorrem de duas maneiras: (a) iluminação direta nos dois espaços, considerando separação de ambientes por uma porta e (b) iluminação indireta apenas através de abertura na área de serviço ou de abertura na área de serviço e no ambiente de sala. Foram definidos sete modelos de análise. As tipologias com iluminação direta podem ser observadas na Tabela 6.

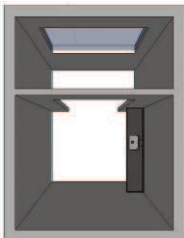
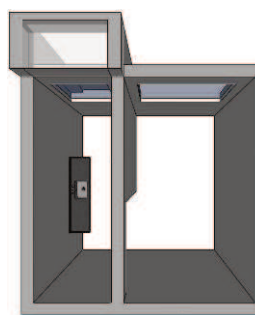
Tabela 6 – Características dos modelos de estudo com iluminação direta

Modelo	Geometria	Ambiente	Largura (m)	Profundidade (m)	Área (m ²)	Elemento Externo
Iluminação Direta		Cozinha	3,50	1,75	6,13	Não apresenta
		Área de serviço	2,50	1,75	4,38	
		Cozinha	3,50	4,50	15,75	Não apresenta
		Área de serviço	1,60	4,50	7,20	
		Cozinha	2,00	4,00	8,00	Não apresenta
		Área de serviço	1,60	2,50	4,00	Elemento de reflexão: 1,60 x 1,35 m Peitoril: 1,20 m Verga: 2,20m

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 7 apresenta as características das tipologias de análise com iluminação indireta. Os modelos possuíam cozinha conjugada à área de serviço e relação com o ambiente de sala, locais por onde a luz natural foi captada. As divisórias de ambientes eram de 2,20 m de altura livre.

Tabela 7 - Características dos modelos de estudo com iluminação indireta

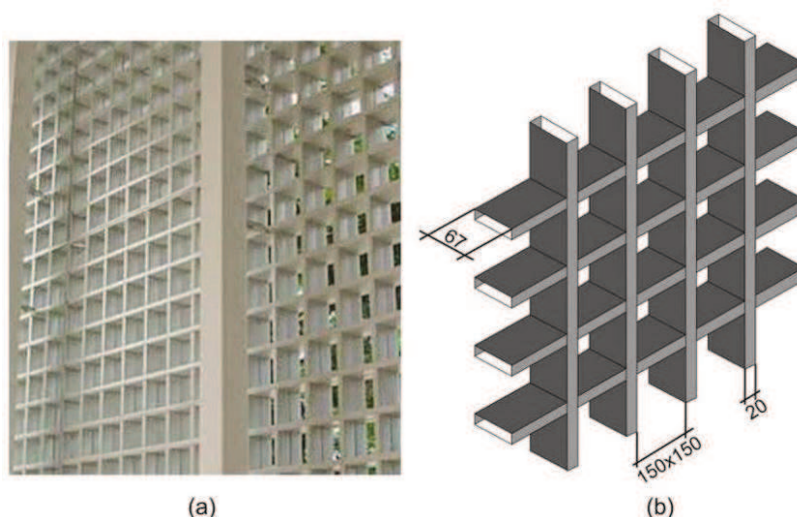
Modelo		Geometria	Ambiente	Largura (m)	Profundidade (m)	Área (m²)	Elemento Externo
Iluminação Indireta	I1		Cozinha	3,50	3,00	10,50	Não apresenta
			Área de serviço	3,50	1,60	5,60	
	I2		Cozinha	1,60	3,00	4,80	Não apresenta
			Área de serviço	1,60	1,60	2,56	
			Sala	2,70	4,60	12,42	
	I3		Cozinha	1,60	3,00	4,80	Elemento de reflexão: 1,60 x 0,80 m Peitoril: 1,20 Verga: 2,20m
			Área de serviço	1,60	1,60	2,56	
			Sala	2,70	4,60	12,42	Não apresenta
	I4		Cozinha	1,60	3,00	4,80	Brise de Proteção Solar afastado 0,80 m da fachada
			Área de serviço	1,60	1,60	2,56	
			Sala	2,70	4,60	12,42	Não apresenta

Fonte: Elaborado pela autora.

Buscou-se a avaliação da iluminância proveniente de aberturas dos próprios ambientes de análise, sem interferência de luz originária de espaços adjacentes. A possível conexão entre os modelos de análise com demais cômodos foi ignorada. Nas paredes externas, utilizou-se a espessura de 0,25 m e, nas divisórias internas, de 0,15 m.

Com a intenção de avaliar a influência de elementos externos – inseridos na própria edificação – nos níveis de iluminação do ambiente interno, os modelos D3, I3 e I4 diferenciaram-se dos demais. Nos modelos D3 e I3, utilizou-se adicionais a fim de avaliar a contribuição da refletância da luz para o ambiente interno. Na prática, esses elementos funcionam como sacadas e lajes técnicas. Já o modelo I4 apresentou brise de proteção solar tipo “colmeia”, conforme observado na Figura 21, a fim de avaliar sua influência nos valores internos de iluminância.

Figura 21 – Brise tipo colmeia: (a) aparência; (b) dimensões (mm)



Fonte: Adaptado de Refax (2017) e Sulmetais (2017).

Nas análises, as portas existentes nos modelos com iluminação direta foram consideradas abertas. Além disso, todos os modelos apresentaram 2,50 m de altura interna livre, dimensão que corresponde ao valor médio observado nos projetos de referência e também por ser a altura mínima de pé-direito estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2013a). Internamente, a bancada da pia da cozinha foi o único elemento considerado nas análises por apresentar pouca flexibilidade de alteração de posição, em função das tubulações de água e esgoto. Cada modelo apresentou bancada posicionada a 0,90 m do chão, com largura de 0,60 m e espessura de 0,05 m, posicionadas de acordo com projetos de referência.

Os modelos possuíam abertura unilateral e centralizada no vão indicado com a dimensão de largura. Com base na NBR 15575 (ABNT, 2013a), as aberturas devem atender as condições mínimas exigidas pela legislação local. Nesse sentido, utilizou-se o Código de Obras da cidade de Porto Alegre e considerou-se 1/6 da área do piso como dimensão das aberturas. Ponderando a possibilidade de existência de tubulações nos ambientes de cozinha e de área de serviço, adotou-se a dimensão de 1,20 m como peitoril. No ambiente social, correspondente à sala, adotou-se o peitoril de 1,00 m. A dimensão utilizada como verga foi de 2,20 m, com base nos projetos referenciais, e utilizou-se 0,05 m como dimensão de caixilho. Com esta configuração, a variação das aberturas ocorreu pela largura dos vãos. As características das aberturas de cada modelo podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Características das aberturas dos modelos de estudo

Modelo		Ambiente	Área do Ambiente (m ²)	Dimensão Mínima de Abertura (m ²): 1/6 da Área	Dimensão Abertura Proposta (m)	Área de Abertura Proposta (m ²)
Iluminação Direta	D1	Cozinha	6,13	1,02	1,10x1,00/1,20	1,10
		Área de serviço	4,38	0,73	0,80x1,00/1,20	0,80
	D2	Cozinha	15,75	2,63	2,70x1,00/1,20	2,70
		Área de serviço	7,20	1,20	1,20x1,00/1,20	1,20
	D3	Cozinha	8,00	1,33	1,40x1,00/1,20	1,40
		Área de serviço	4,00	0,66	0,70x1,00/1,20	0,70
Iluminação Indireta	I1	Cozinha + Área Serv.	16,10	2,68	2,70x1,00/1,20	2,70
	I2	Cozinha + Área Serv.	7,36	1,22	1,30x1,00/1,20	1,30
		Sala	12,42	2,07	1,80x1,20/1,00	2,16
	I3	Cozinha + Área Serv.	7,36	1,22	1,30x1,00/1,20	1,30
		Sala	12,42	2,07	1,80x1,20/1,00	2,16
	I4	Cozinha + Área Serv.	7,36	1,22	1,30x1,00/1,20	1,30
		Sala	12,42	2,07	1,80x1,20/1,00	2,16

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2 Critérios de Análise

A fim de avaliar o desempenho lumínico da luz natural, utilizou-se dois critérios de análise. O primeiro foi baseado na NBR 15575, que estabelece níveis para o desempenho de edificações habitacionais, e, como segundo critério, utilizou-se o método de análise *Useful Daylight Illuminances* (UDI).

3.2.1 Classificação de Desempenho Lumínico – NBR 15575

O desempenho lumínico é um dos requisitos estabelecidos pela NBR 15575 (2013a), intitulada Edificações Habitacionais – Desempenho. Pela normativa, é possível mensurar o nível de desempenho lumínico natural e artificial. Os níveis de iluminância estabelecidos para simulações com iluminação natural podem ser observados na Tabela 9. Foram utilizados os valores relacionados às dependências de copa e cozinha e área de serviço como critério de análise.

Tabela 9 – Níveis de iluminância para luz natural

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

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

Foram realizadas simulações computacionais nos dias 23 de abril e 23 de outubro, no plano horizontal, nos períodos da manhã e tarde, respectivamente às 9h30 e 15h30, conforme indicado pela NBR 15575. Além disso, utilizou-se céu com nebulosidade média (em torno de 50% de nuvens), conforme indicado pela normativa. (ABNT, 2013a).

Os dados de latitude e longitude geográfica foram indicados conforme o local avaliado. As simulações foram realizadas sem obstruções, ou seja, considerando janelas e portas abertas e sem elementos que interferissem nos resultados. A iluminância foi medida no ponto do centro geométrico de cada ambiente, com o plano de referência a 0,75 m do piso. (ABNT, 2013a).

A norma ainda indica que características da obra, como implantação e possíveis sombreamentos causados por elementos vizinhos, devam ser levados em consideração. 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 as variáveis internas e os elementos externos inseridos na própria edificação, os modelos foram simulados considerando o entorno desobstruído e sem diferenciação de pavimento.

3.2.2 Classificação do Desempenho Lumínico – *Useful Daylight Illuminances*

Considerando as diferentes nuances da luz natural ao longo do dia e dos meses, utilizou-se o método dinâmico de avaliação *Useful Daylight Illuminances* (UDI). O método avaliou o comportamento da média de iluminância de cada ambiente, ao longo de um ano, em relação a determinados intervalos (Tabela 10), conforme mencionado na seção 2.6 deste trabalho.

Tabela 10 – Intervalos de iluminância do método UDI

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

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

As simulações computacionais foram realizadas ao longo de 365 dias, de hora em hora, entre 8h e 18h, totalizando 3.650 horas, no plano de trabalho a 0,75 m do chão. Conforme indicado pelo método, as análises foram realizadas na cidade de estudo, Porto Alegre, por meio da inserção de dados geográficos de localização, posição solar e fuso horário. Além disso, o método indica que possíveis elementos do entorno devem ser considerados, característica ignorada neste trabalho que busca a análise dos ambientes isolados. Por tratar-se de um método de avaliação dinâmico, os tipos de céu utilizados basearam-se nos dados indicados no arquivo climático padrão disponibilizado para a cidade de avaliação. (MARDALJEVIC *et al.*, 2011).

3.3 Determinação das Refletâncias

Os valores de refletância das superfícies internas, utilizados nas simulações computacionais, foram definidos com base em análise espectralradiométrica em

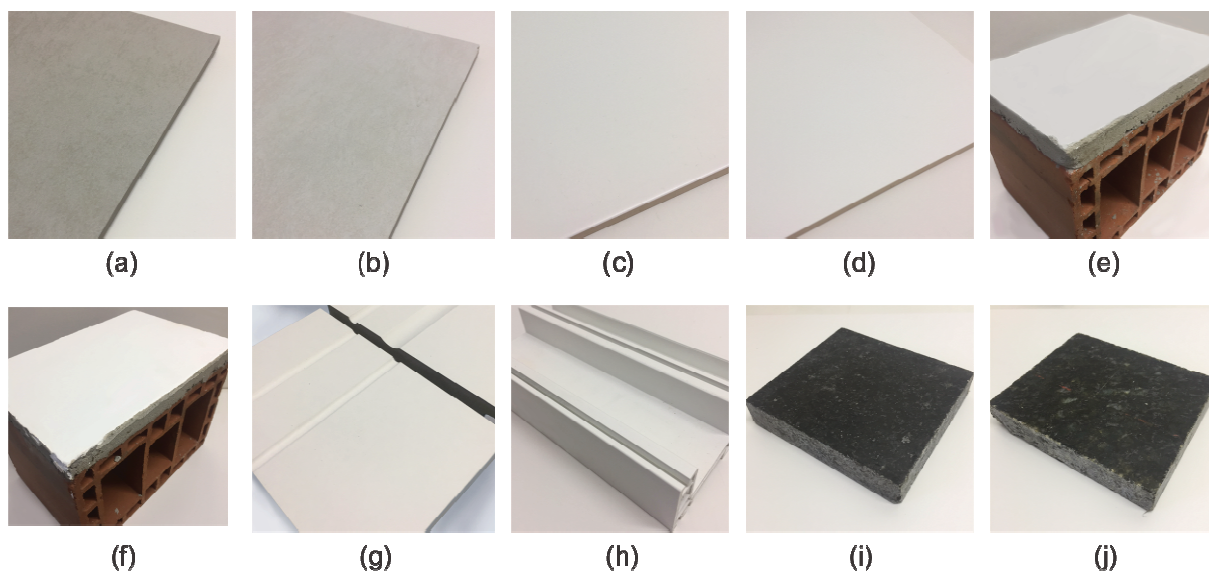
amostras de revestimentos utilizados nos projetos referenciais. Foram analisadas 10 amostras de revestimentos para utilização em superfícies de piso, parede e teto, porta interna, perfil da esquadria da janela e bancada da pia da cozinha. As amostras variam conforme a superfície de aplicação, além de acabamento e cor, conforme observado na Tabela 11 e na Figura 22.

Tabela 11 – Características das amostras de revestimentos utilizadas 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 em reboco	Semibrilho	Gelo
06	Parede e teto	Pintura em reboco	Acetinado	Branco
07	Porta	MDF ² pintado	Acetinado	Branco
08	Perfil da janela	PVC ³	-----	Branco
09	Bancada da pia	Granito	Polido	Preto
10	Bancada da pia	Granito	Polido	Verde Escuro

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 22 – Revestimentos analisados: (a) amostra 01; (b) amostra 02; (c) amostra 03; (d) amostra 04; (e) amostra 05; (f) amostra 06; (g) amostra 07; (h) amostra 08; (i) amostra 09; (j) amostra 10



Fonte: Elaborado pela autora.

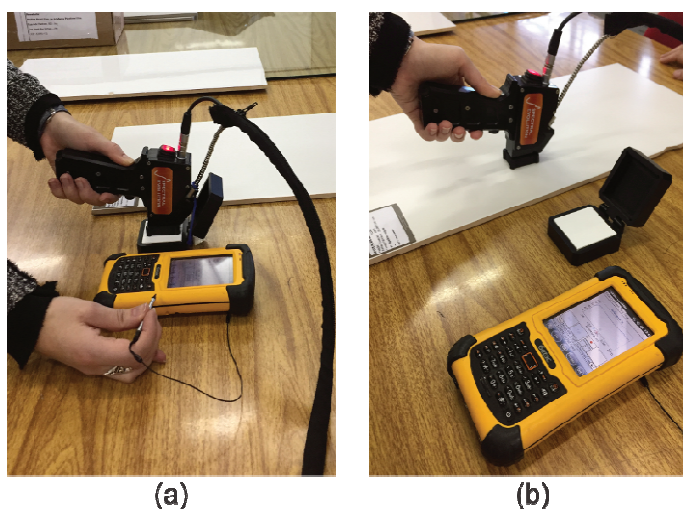
² MDF – Medium Density Fiberboard.

³ PVC – Policloreto de Vinila.

A coleta de dados foi realizada por meio do espectroradiômetro fabricado pela *Spectral Evolution*, de modelo SR-3500. O equipamento 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 LASERCA⁴, vinculado à Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Na realização da medição, primeiro foram capturados os dados de uma placa de referência, placa *Spectralon*, que possui alta e conhecida refletância, aproximadamente no valor de 100%. Após, coletou-se os dados da superfície alvo, ou seja, da amostra de revestimento que se desejou descobrir a refletância. (ALVARENGA *et al.*, 2003; DURÁN; PRADO; PEREIRA FILHO, 2013). A Figura 23 apresenta o processo de obtenção do valor de refletância das superfícies.

Figura 23 – Medição de refletância: (a) placa de referência; (b) superfície alvo



Fonte: Elaborado pela autora.

A relação entre os valores obtidos na placa de referência e na superfície alvo indicam os valores de refletância do revestimento analisado. Os valores foram obtidos para cada comprimento de onda. A fim de que não ocorressem interferências nas coletas dos dados, a área de captura da informação permaneceu isolada no momento de leitura do espectroradiômetro. Com o objetivo 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 3 pontos diferentes para que as nuances características dos próprios materiais não interferissem nos

⁴ LASERCA – Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital.

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, para cada amostra, calculou-se o valor médio dos 3 registros obtidos para o total dos comprimentos de onda. Após, foram desenvolvidos gráficos com as curvas espectrais de cada amostra e, pelo método de integração de áreas, obteve-se o valor de refletância de cada revestimento. As curvas espectrais foram desenvolvidas para o total dos comprimentos de onda, entre 250 e 3.500 nm, e também para o espectro visível, entre 380,5 nm e 780,5 nm. Os valores de refletância foram obtidos para os comprimentos de onda referentes às radiações ultravioleta, visível, infravermelho e total, sendo que, na realização das simulações computacionais, utilizou-se os dados referentes à luz visível. Nas situações em que mais de uma amostra foi analisada como possível revestimento de uma determinada superfície, como critério de escolha, comparou-se os resultados obtidos com dados consolidados e com as normativas referentes ao assunto.

3.4 Simulações Computacionais

As simulações computacionais foram desenvolvidas em duas etapas. Na primeira etapa, para o critério de análise da NBR 15575, utilizou-se o *software* DIALux EVO, na versão 5.7.1.36813, e, para a segunda etapa, com análise pelo método UDI, utilizou-se o *plug-in* Diva, versão 4.0.2.24, que opera no *software* Rhinoceros, versão 5 SR14. Para o preciso ajuste do programa, alguns dados específicos de entrada foram inseridos. O Apêndice A apresenta as principais etapas desenvolvidas no DIALux, e o Apêndice B as etapas realizadas no Diva.

3.4.1 Configurações de Pontos e Malhas de Medição

As duas etapas de simulações computacionais foram realizadas em uma quantidade mínima de pontos a fim de padronizar as análises, e a definição foi feita conforme a NBR 15215:4 (ABNT, 2005). Primeiramente, foi utilizada a Equação 1 dada pela normativa.

$$k = \frac{C \cdot L}{H_m \cdot (C+L)} \quad (1)$$

Onde: k é a referência obtida; C é o comprimento do ambiente (em metros); L é a largura do ambiente (em metros); H_m é a distância vertical entre a superfície de trabalho e o topo da janela (em metros).

Considerando o plano de trabalho a 0,75 m do chão, a distância vertical até o topo da janela (H_m) resultou em 1,45 m. Obtido o valor de referência, conferiu-se o número mínimo de pontos de simulação apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Quantidade mínima de pontos a serem medidos

k	Nº de pontos
$k \leq 1$	9
$1 \leq k \leq 2$	16
$2 \leq k \leq 3$	25
$k \geq 3$	36

Fonte: Adaptado de ABNT (2005).

A Tabela 13 apresenta o valor de referência e a quantidade mínima de pontos, conforme a normativa, para os planos de trabalho dos ambientes de cozinha e da área de serviço dos sete modelos de análise.

Tabela 13 - Pontos mínimos de medição para os planos de trabalho

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

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a definição do número mínimo de pontos, estabeleceu-se a malha para medição. De acordo com a NBR 15215:4 (ABNT, 2005), utilizou-se malha com geometria próxima à de um quadrado. A normativa indica, ainda, que a malha deve estar afastada 0,50 m das paredes, porém, como os modelos apresentam dimensões reduzidas e 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. O primeiro foi o uso de numeração ímpar nas linhas horizontais e verticais para que as medições da primeira etapa das simulações computacionais ocorressem sempre no centro dos planos de trabalho dos ambientes. O segundo parâmetro foi a definição de variação de valor de malha entre 0,30 e 0,45 m em função da dimensão dos ambientes. Com esses parâmetros, o número de pontos simulados ficou acima da quantidade mínima, o que permitiu o refinamento dos resultados obtidos na segunda etapa das análises, que avaliou a iluminância média dos ambientes.

A configuração dos pontos de medição foi realizada de maneira diferente nos dois *softwares*. No DIALux, determinou-se a quantidade de pontos e foi obtido o valor da malha; já pelo Diva foi inserido o valor aproximado da malha desejada, que resultou nos pontos simulados. Na Tabela 14, observa-se a malha proposta e a quantidade de pontos simulados.

Tabela 14 – Pontos e malhas de medição utilizados nas simulações computacionais

Modelo		Ambiente	DIALux			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 Serv.	7x5	0,35x0,35	35	7x5	0,33x0,30	35
	D2	Cozinha	9x13	0,38x0,34	117	10x12	0,35x0,32	120
		Área Serv.	5x13	0,32x0,34	65	5x13	0,30x0,32	65
	D3	Cozinha	5x9	0,40x0,44	45	5x9	0,42x0,35	45
		Área Serv.	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 Serv.	9X5	0,38x0,32	45	9x5	0,35x0,27	45
	I2	Cozinha	5X9	0,32x0,33	45	5x9	0,28x0,31	45
		Área Serv.	5X5	0,32x0,32	25	5x5	0,27x0,28	25
	I3	Cozinha	5X9	0,32x0,33	45	5x9	0,28x0,31	45
		Área Serv.	5X5	0,32x0,32	25	5x5	0,27x0,28	25
	I4	Cozinha	5X9	0,32x0,33	45	5x9	0,28x0,31	45
		Área Serv.	5X5	0,32x0,32	25	5x5	0,27x0,28	25

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme os dados apresentados, salienta-se diferenças nas dimensões das malhas nos dois *softwares* em função das características de cálculo de inserção de pontos de cada um deles. Porém, a quantidade de pontos foi mantida igual ou aproximada, tendo como referência a malha de análise. O valor de variação das malhas foi de 0,04m a 0,09 m.

3.4.2 Parâmetros Adicionais

Com base nos critérios de análise, foram utilizados diferentes tipos de céu e a luz solar direta foi ignorada nas duas etapas de simulações computacionais. As análises conforme a NBR 15575 foram desenvolvidas com o modelo de céu médio, que apresentava aproximadamente 50% de nuvens. Nas simulações computacionais pelo método UDI, por tratar-se de avaliação dinâmica, utilizou-se o arquivo climático *Test Reference Year* (TRY) da cidade de Porto Alegre. O arquivo TRY representa um ano em que tem-se dados médios da cidade de Porto Alegre sem extremos de temperatura; ademais, utilizou-se a informação referente à cobertura total de nuvens, informação apresentada em sistema de décimas. O arquivo passou por revisão no ano de 2005 e apresenta os dados da cidade no ano de 1954. (LABEEE, 2017; SCHELLER *et al.*, 2015).

Em relação aos fechamentos envidraçados, utilizou-se vidro comum de 4 mm, com valor de transmitância com base na NBR 15215:3 (ABNT, 2005). Na primeira etapa das simulações computacionais, com o DIALux, utilizou-se o valor de transmitância de 85%, valor exato indicado pela normativa. Além disso, configurou-se a refletância em 10%, padrão do *software*, e o fator de manutenção em 0,75, valor também indicado pela norma brasileira. Na segunda etapa, com o *plug-in* Diva, foi ajustado apenas a transmitância do vidro, em 88%, valor padrão mais aproximado ao sugerido pela norma.

Quanto aos dados de alinhamento da edificação, ou seja, localização, no *software* DIALux, foi adotada a cidade de Porto Alegre – RS, com valores de longitude de -51° 13' e latitude de -30° 01'. No fuso horário, ajustou-se o Tempo Universal Coordenado (UTC, do inglês *Universal Time Coordinated*) para o de Brasília, correspondente a -3 horas em relação ao Meridiano de *Greenwich*. Na segunda etapa de simulações, com o *plug-in* Diva, as informações de localização e UTC foram inseridas automaticamente por meio do arquivo climático TRY.

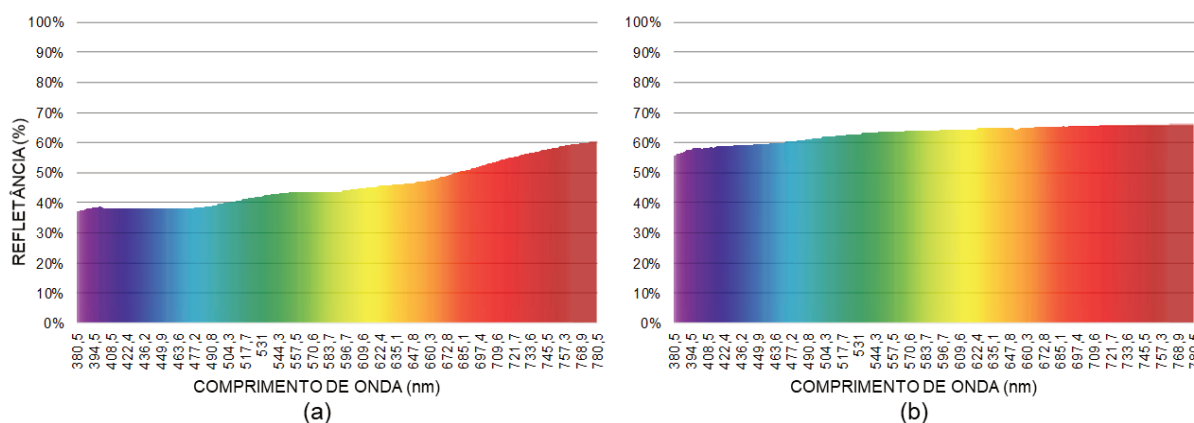
Nas duas etapas de simulações computacionais, os modelos foram avaliados nas quatro principais orientações solares: norte, sul, leste e oeste. No *software* DIALux, foi ajustado o alinhamento norte com valores em graus e, no Rhinoceros, com o norte fixado no eixo y superior, rotacionou-se os modelos, também em graus, conforme o andamento das simulações computacionais. As simulações com base na NBR 15575 apresentaram 4 horários de análise para cada modelo em cada orientação solar, totalizando 112 horas de análise. Com base no método UDI, cada modelo foi simulado por 3.650 horas em cada orientação solar, totalizando 102.200 horas de dados obtidos.

4 RESULTADOS

4.1 Refletância das Superfícies Internas

Amostras de revestimentos foram analisadas a fim de realizar o ajuste dos *softwares* com informações precisas de valores de refletância interna. Na Figura 24, observam-se as curvas espectrais para as 02 amostras analisadas para a superfície de piso nos comprimentos de onda referentes ao espectro visível, entre 380,5 e 780,5 nm. Ambas as amostras possuíam acabamento acetinado, mas com diferentes cores: cinza e branco. A amostra na cor cinza apresenta aumento de refletância nos comprimentos de onda referentes ao vermelho, próximo aos 670 nm, à medida que a amostra na cor branca apresenta uniformidade de refletância próximo aos 60%. Nesse caso, a diferença de valores das amostras se dá em função das cores, e constata-se que a amostra na cor branca apresenta maior capacidade de refletir a luz visível.

Figura 24 – Curvas espectrais das superfícies de piso: (a) amostra 01 – porcelanato acetinado cinza; (b) amostra 02 – porcelanato acetinado branco

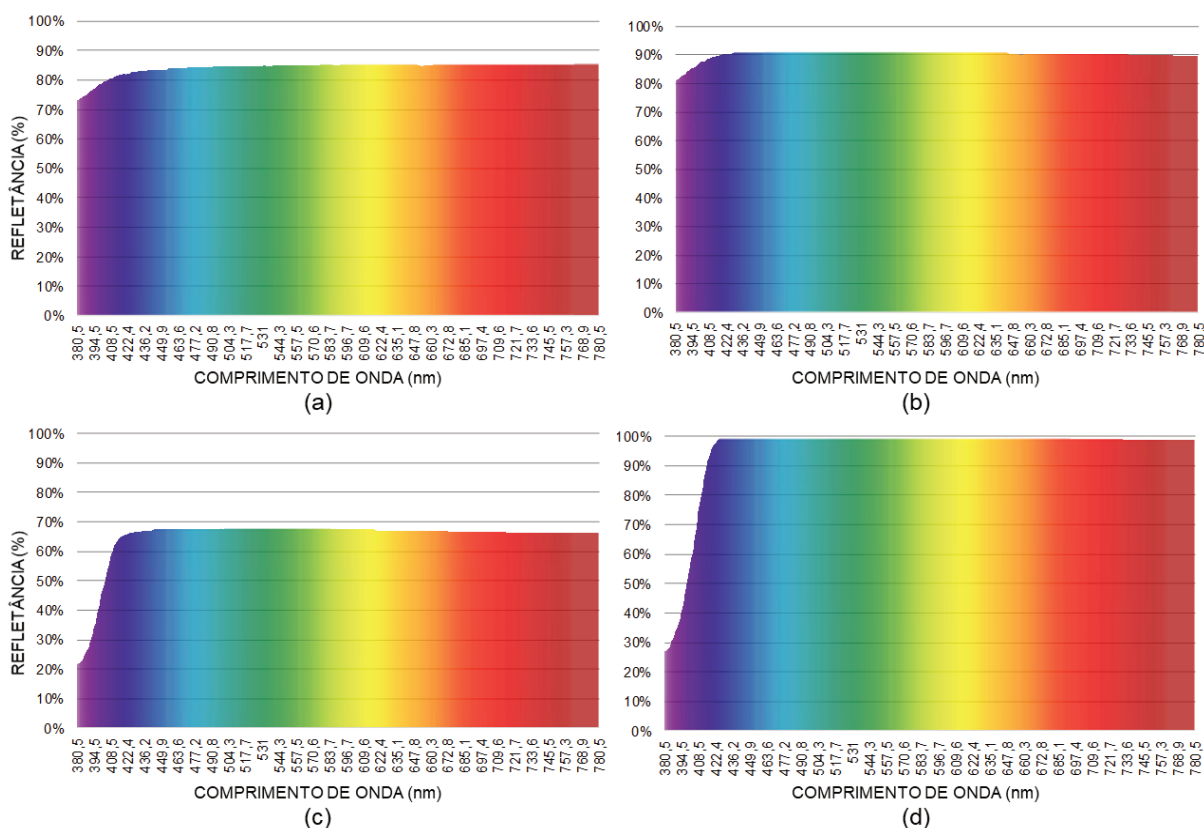


Fonte: Elaborado pela autora.

As curvas espectrais das amostras de revestimentos das paredes e tetos, nos comprimentos de onda do espectro visível, podem ser observadas na Figura 25. Definiu-se o uso de porcelanato na parede que possui a bancada da pia e, nas demais paredes e no teto, revestimento com reboco e pintura. Em relação às amostras de porcelanato de parede, ambas foram analisadas na cor branca, porém, a primeira com acabamento acetinado e a segunda com acabamento polido. As amostras apresentaram pequeno aumento de valor de refletância nos comprimentos

de onda referentes aos tons de violeta, próximo aos 410 nm, e uniformidade ao longo do restante dos comprimentos. Na parte uniforme do espectro, o revestimento acetinado ficou próximo aos 85%, enquanto o porcelanato polido ficou próximo aos 90% de refletância, comprovando a influência dos diferentes acabamentos nos resultados obtidos. Quanto aos revestimentos com reboco e pintura, diferenciaram-se em acabamento e cor, sendo que a primeira amostra possuía pintura semibrilho na cor gelo e a segunda apresentava pintura acetinada na cor branca. Ambas as amostras apresentaram pico de refletância nos tons de violeta, próximo aos 410 nm, porém, o primeiro revestimento apresentou uniformidade próximo aos 65% de refletância, à medida que o segundo se manteve uniforme próximo aos 100%. Esse alto valor obtido deve-se à cor utilizada, branco, e em função das amostras terem sido pintadas 10 dias antes das análises com o espectroradiômetro, apresentando pouco acúmulo de pó nas superfícies.

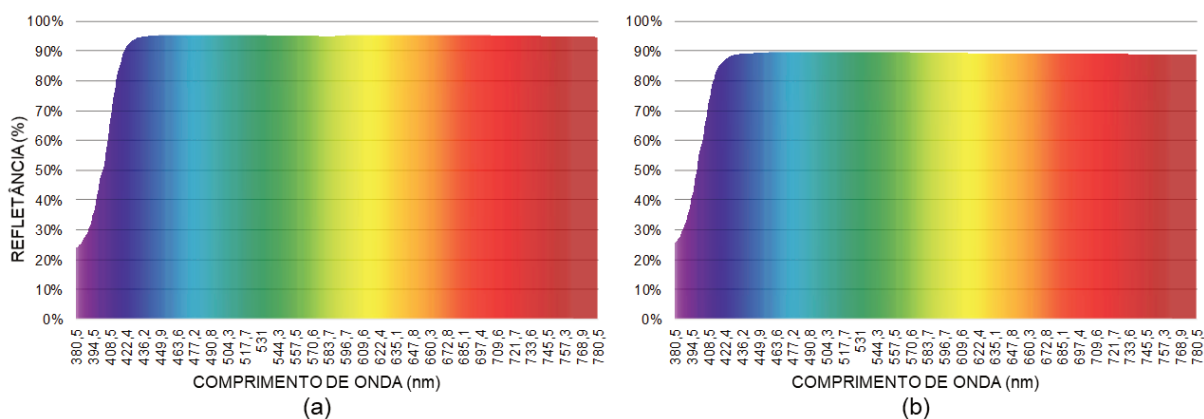
Figura 25 – Curvas espectrais das superfícies de parede e teto: (a) amostra 03 – porcelanato acetinado branco; (b) amostra 04 – porcelanato polido branco; (c) amostra 05 – pintura em reboco semibrilho gelo; (d) amostra 06 – pintura em reboco acetinado branco



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 26 apresenta as curvas espectrais para o acabamento da porta, em MDF com pintura acetinada na cor branca, e do perfil da janela, em PVC na cor branca. Ambas as amostras apresentaram elevado aumento de refletância nos comprimentos de onda próximo aos 395 nm, nos tons de violeta, e uniformidade nos demais comprimentos do espectro visível. O valor de refletância do material de acabamento da porta estabilizou-se próximo aos 95%, enquanto o material do perfil da janela manteve-se uniforme logo abaixo dos 90% de refletância, evidenciando a alta radiação de luz das duas amostras na maior parte dos comprimentos de onda analisados.

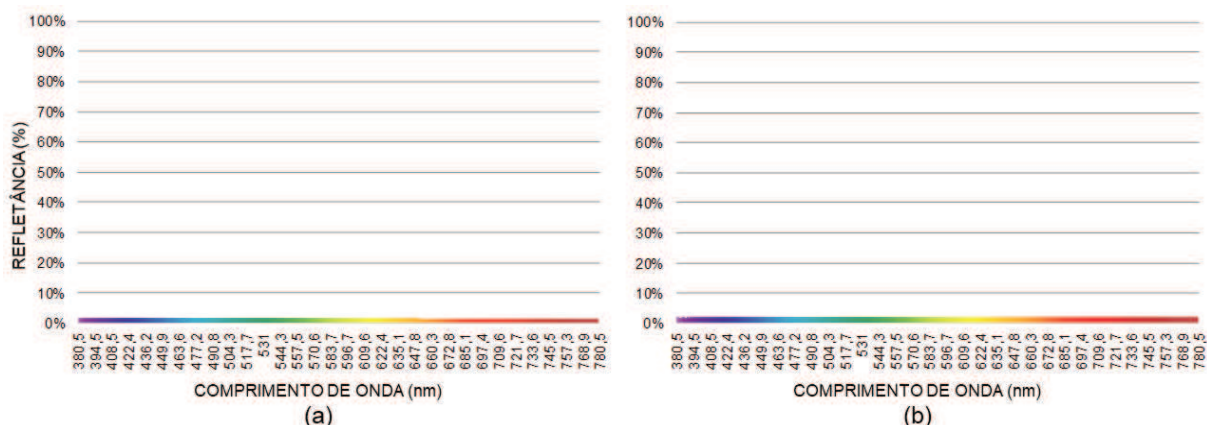
Figura 26 - Curvas espectrais dos acabamentos de porta e janela: (a) amostra 07 – MDF com pintura acetinada branca; (b) amostra 08 – PVC branco



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a bancada da pia, único elemento interno utilizado nas simulações computacionais, analisou-se duas amostras de granito. Ambas possuíam acabamento polido, diferenciando-se pela cor, a primeira preta e a segunda com tonalidade verde escura. A escolha das cores das amostras ocorreu em função da probabilidade de apresentarem baixos valores de refletância e representarem, assim, uma situação desfavorável na distribuição de luz no ambiente interno. Conforme previsto, as amostras obtiveram baixos valores de refletância, distribuídos uniformemente ao longo do espectro visível, conforme observado na Figura 27.

Figura 27 - Curvas espectrais do acabamento da bancada da pia: (a) amostra 09 – granito polido preto; (b) granito polido verde escuro



Fonte: Elaborado pela autora.

O valor global de refletância de cada amostra, dado em porcentagem, foi obtido com base nas curvas espectrais ao longo da radiação visível, entre 380,5 e 780,5 nm, pelo método de integração de áreas e pode ser observado na Tabela 15, juntamente com as características de cada revestimento. No Apêndice C, encontram-se as curvas espectrais das 10 amostras medidas, ao longo do total dos comprimentos de onda, entre 350 e 2.500 nm, bem como a tabela completa de valores de refletância global nas radiações ultravioleta, visível, infravermelho e total.

Tabela 15 – Refletância visível obtida para cada amostra analisada

Características das Amostras					Refletância (%)
Amostra	Superfície	Revestimento	Acabamento	Cor	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	Acetinada	Branco	91,04
08	Perfil da janela	PVC	-----	Branco	86,06
09	Bancada da pia	Granito	Polido	Preto	1,65
10	Bancada da pia	Granito	Polido	Verde Escuro	2,21

Fonte: Elaborado pela autora.

A fim de validar a refletância visível obtida pelo método de espectroradiometria, comparou-se os resultados com bibliografias da área. Os revestimentos na cor branca, indiferentemente do material e do tipo de acabamento utilizado, 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 para utilização nas simulações computacionais, 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 possibilidades e limitações do *software* DIALux e do *plug-in* Diva. Na Tabela 16, observam-se as amostras selecionadas e os valores utilizados nas duas etapas de simulações computacionais. Além dos valores obtidos, 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.

Tabela 16 - Amostras de revestimentos selecionadas e valores utilizados nas simulações computacionais

Características das Amostras				Refletância Obtida (%)	Refletância Utilizada (%)	
Amostra	Superfície	Acabamento	Cor	Espectro Visível	DIALux	Diva
01	Piso	Porcelanato acetinado	Cinza	46	46	40
04	Parede da pia	Porcelanato polido	Branco	91	90	90
06	Parede e teto	Pintura acetinada em reboco	Branco	96	90	90
07	Porta	MDF com pintura acetinada	Branco	91	90	90
08	Perfil da janela	PVC	Branco	86	86	90
10	Bancada da pia	Granito polido	Verde Escuro	2	2	2

Fonte: Elaborado pela autora.

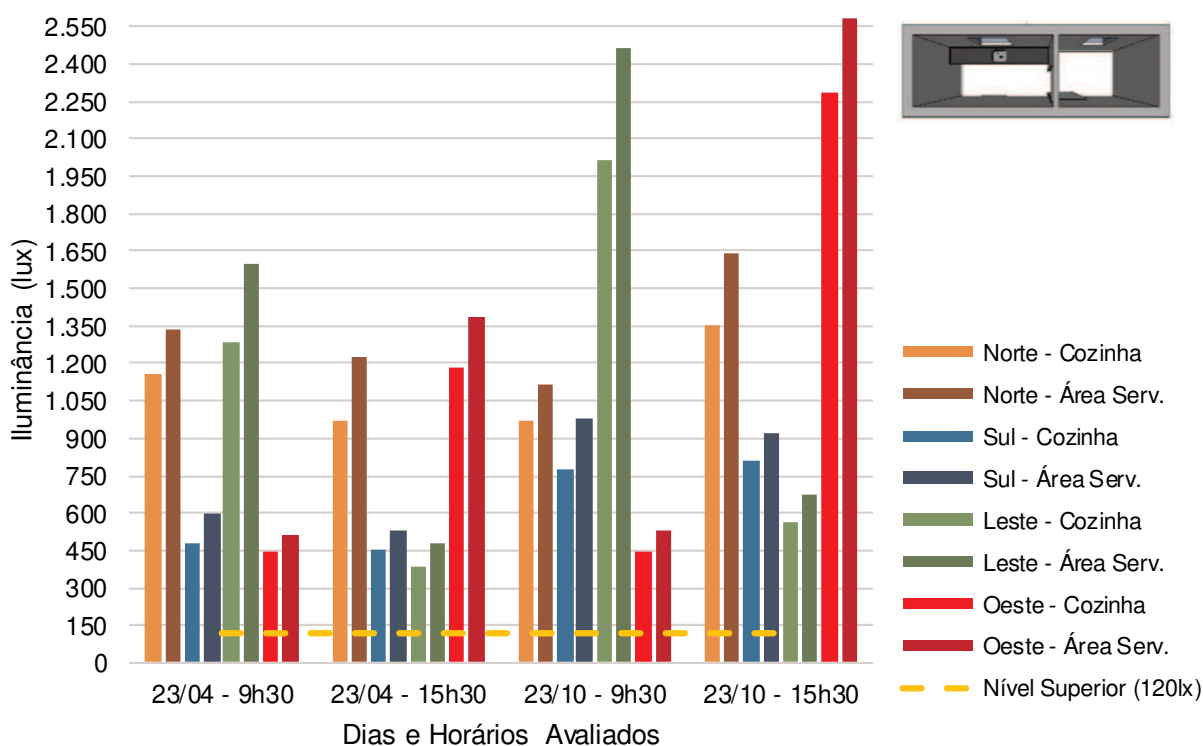
A NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013b) também foi utilizada como base comparativa para conferência dos valores de refletância das superfícies internas. Pode-se afirmar que os revestimentos se encontram parcialmente de acordo com o sugerido. De acordo com a norma, superfícies de piso devem apresentar entre 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 todas 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.

4.2 Desempenho Lumínico – NBR 15575

As análises foram realizadas de acordo com a NBR 15575, que estabelece simulações computacionais estáticas, para os dias 23 de abril e 23 de outubro às 9h30 e às 15h30, e prevê classificação dos ambientes de cozinha e de área de serviço em desempenho lumínico mínimo para o ponto do centro geométrico entre 60 e 90 lx, desempenho intermediário entre 90 e 120 lx e superior acima de 120 lx.

Na Figura 28, observam-se os resultados de iluminância obtidos no centro geométrico dos ambientes do modelo D1, nas orientações solares norte, sul, leste e oeste. Destaca-se que os dois ambientes analisados, tanto cozinha quanto área de serviço, apresentaram valores acima de 120 lx, sendo assim, considerados ambientes com desempenho lumínico superior em todas as orientações solares. O menor valor de iluminância obtido, 388 lx, foi no ambiente de cozinha no dia 23 de abril às 15h30, na orientação leste, enquanto que o maior valor, 2.578 lx, foi encontrado no dia 23 de outubro às 15h30 ao oeste no ambiente de área de serviço.

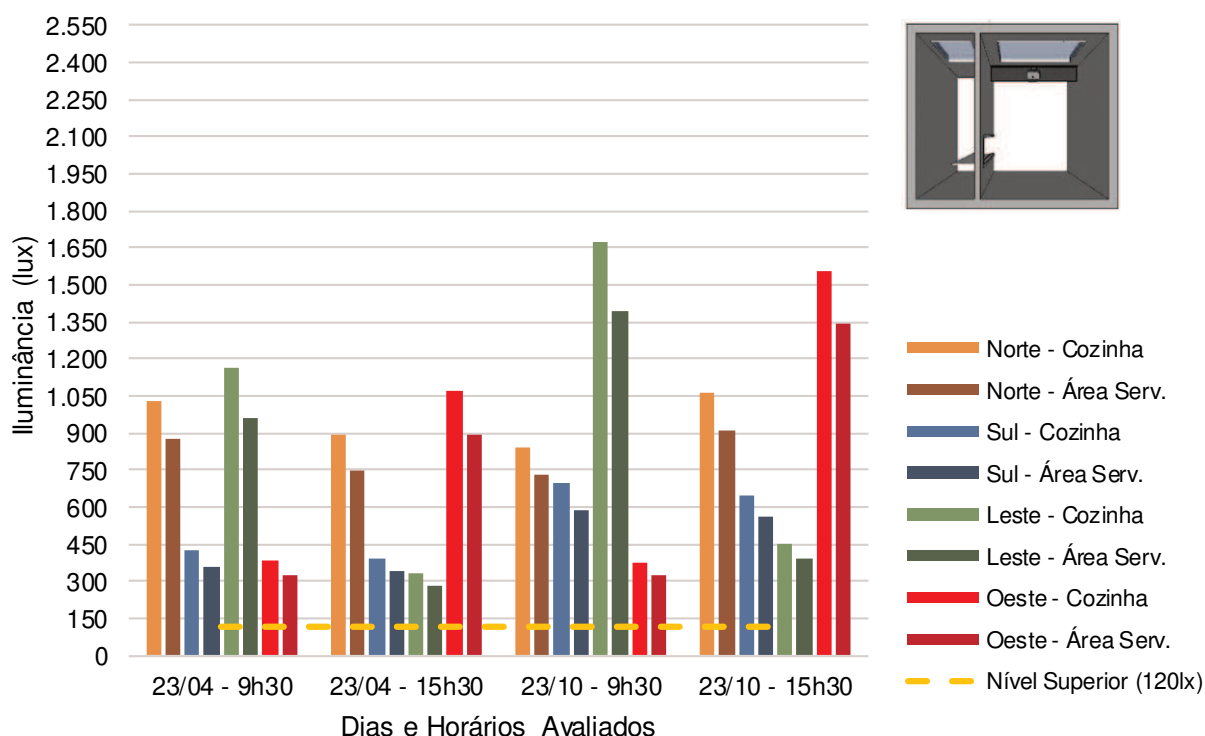
Figura 28 – Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo D1, com base na NBR 15575



Fonte: Elaborado pela autora.

Os ambientes do modelo D2 foram classificados com desempenho superior em todas as orientações solares, pois obtiveram valores de iluminância nos pontos dos centros geométricos acima de 120 lx. Na Figura 29, observam-se os resultados do modelo D2, no qual obteve-se a menor iluminância na área de serviço ao leste, no dia 23 de abril às 15h30, com 287 lx, e o maior valor também na orientação leste, porém, para o ambiente de cozinha no dia 23 de outubro às 9h30, com 1.671 lx.

Figura 29 - Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo D2, com base na NBR 15575

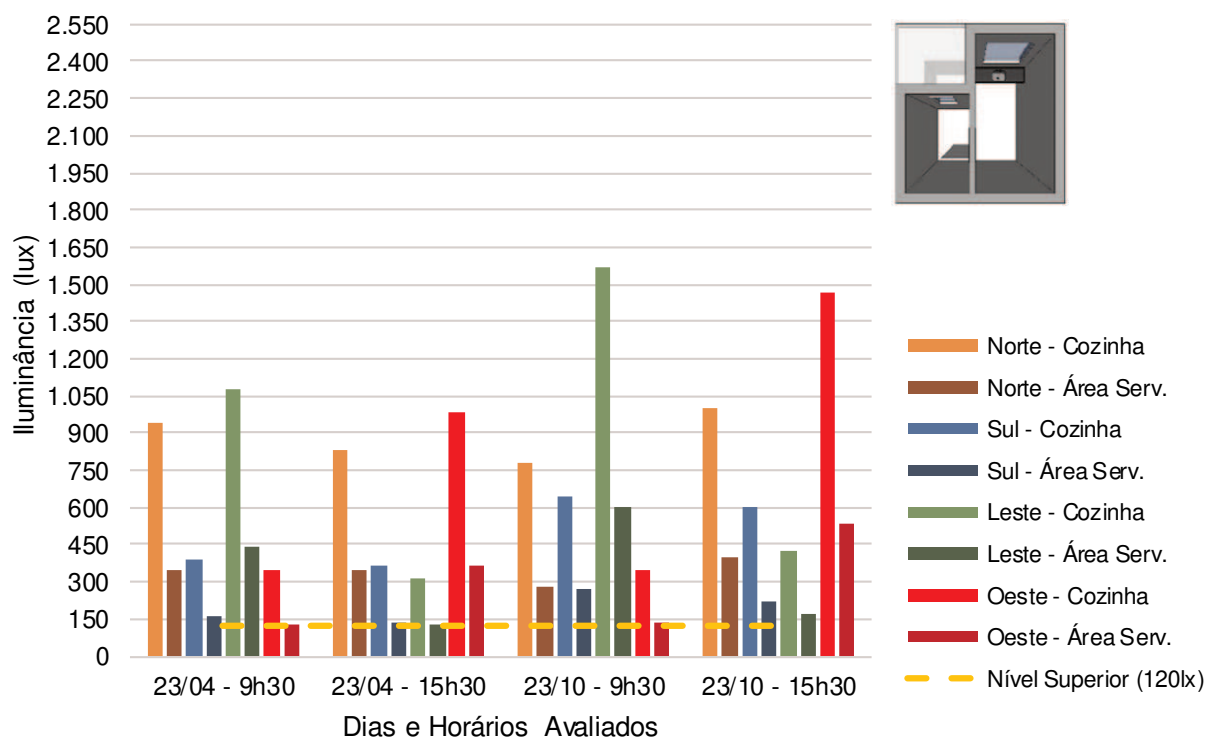


Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação aos resultados previamente apresentados para os modelos D1 e D2, observou-se comparativamente os dois objetos de estudo quanto às diferentes proporções espaciais. O modelo D1, que apresentava menor profundidade que o modelo D2, obteve maiores níveis de iluminância tanto no ambiente de cozinha, quanto no de área de serviço. Este fato deve-se a possível incidência de luz natural no ponto central da geometria, local onde foi realizada a medição.

No modelo D3 (Figura 30), último modelo com iluminação solar de maneira direta dos ambientes de cozinha e de área de serviço e que apresentava elemento externo de reflexão, o menor valor de iluminância no centro geométrico foi de 128 lx, obtido na área de serviço com orientação solar leste no dia 23 de abril às 15h30. Ainda assim, o resultado é superior a 120 lx e todos os ambientes foram considerados com desempenho superior pela NBR 15575 em todas as posições solares. O maior valor de iluminância, 1.572 lx, foi encontrado na cozinha com orientação solar leste no dia 23 de outubro às 9h30.

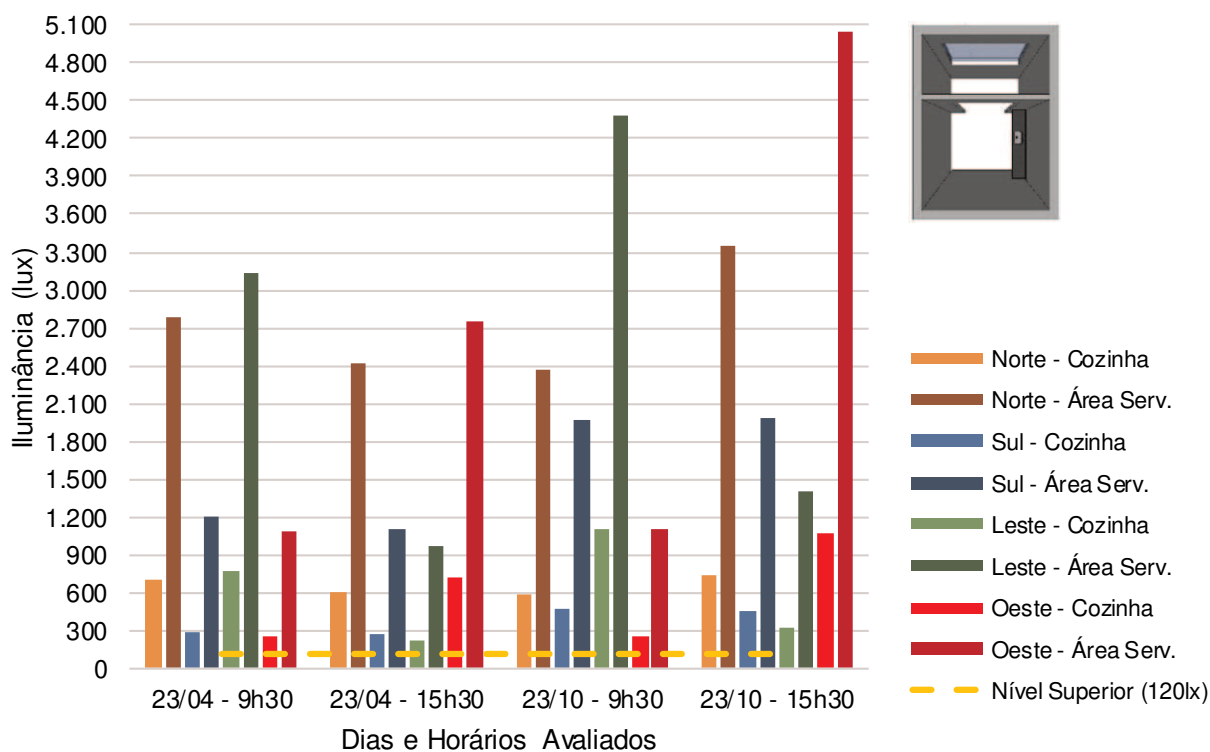
Figura 30 - Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo D3, com base na NBR 15575



Fonte: Elaborado pela autora.

O modelo I1, primeiro com iluminação da cozinha realizada de maneira indireta através dos ambientes de área de serviço e de sala, também foi avaliado como nível de desempenho superior em todas as orientações solares, pois os valores obtidos ficaram acima de 120 lx, conforme observado na Figura 31. O menor valor de iluminância no centro geométrico, 232 lx, foi identificado no ambiente de cozinha, no dia 23 de abril às 15h30, na orientação leste. Já o maior valor foi identificado para o ambiente de área de serviço com orientação oeste no dia 23 de outubro às 15h30 e corresponde a 5.043 lx, o maior valor encontrado nas simulações, bastante acima dos 120 lx necessários para classificação de desempenho superior.

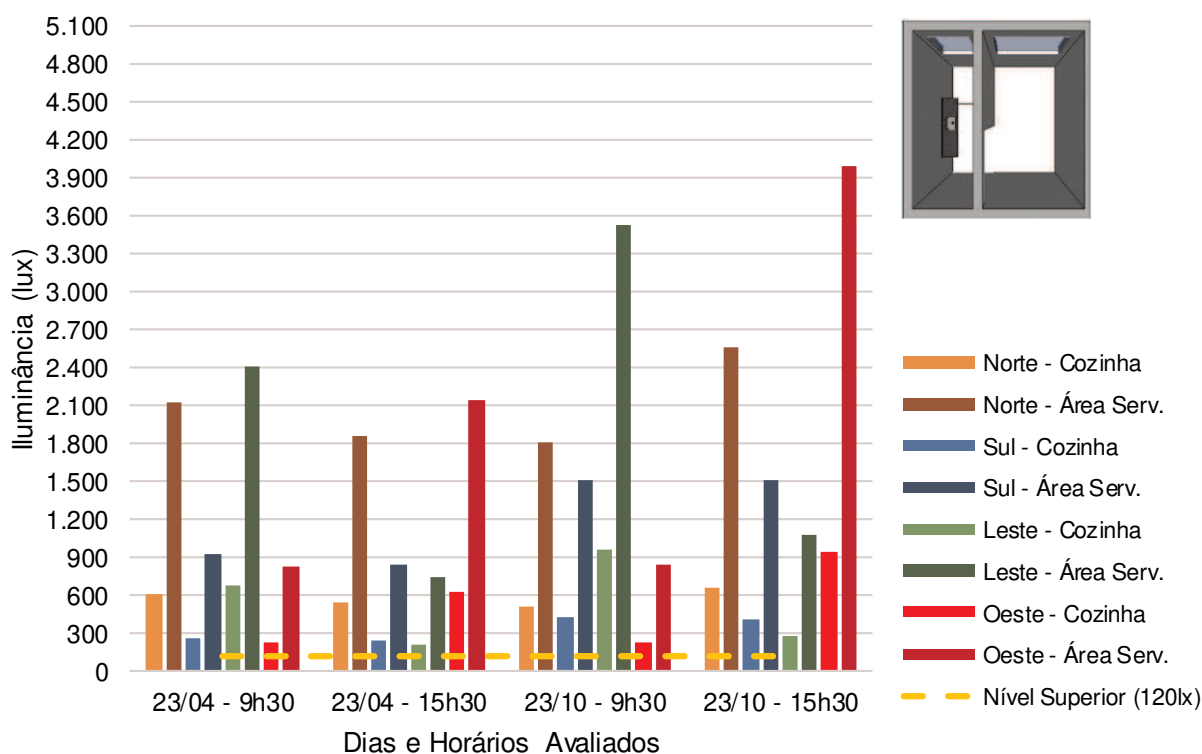
Figura 31 - Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo I1, com base na NBR 15575



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 32 apresenta os resultados obtidos para o modelo I2. A menor iluminância encontrada foi na cozinha no dia 23 de abril às 15h30, com valor de 209 lx na orientação solar leste, e a maior iluminância, 3.989 lx, foi identificada na área de serviço ao oeste no dia 23 de outubro às 15h30. Considerando que todos os ambientes apresentaram valores acima de 120 lx em todos os dias e orientações solares, foram classificados como desempenho lumínico superior.

Figura 32 - Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo I2, com base na NBR 15575

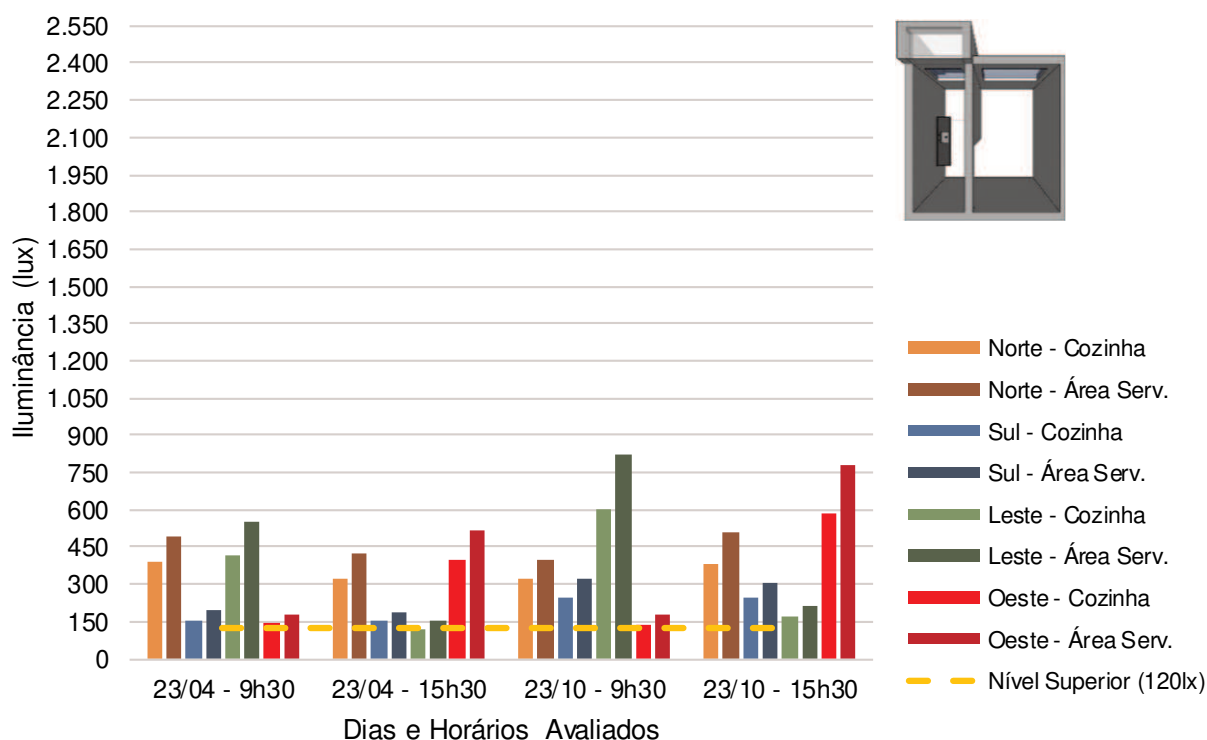


Fonte: Elaborado pela autora.

Analizado os ambientes dos modelos I2 e I3 de maneira comparativa com foco nas diferentes proporções espaciais, tem-se resultados distintos para cada ambiente. A cozinha do modelo I1, com proporção próxima à de um quadrado, e a cozinha do modelo D2, com proporção retangular, obtiveram valores de iluminância aproximados. Já para o ambiente de área de serviço, os maiores níveis de iluminância foram obtidos no modelo I1, com formato retangular, do que no I2, que possuía formato quadrado.

No modelo I3, que possuía área técnica como elemento de reflexão, todos os valores de iluminância nos centros geométricos foram obtidos acima de 120 lx (Figura 33); sendo assim, o modelo foi classificado como desempenho lumínico superior. O menor valor identificado, muito próximo ao limite de classificação máxima, foi de 122 lx, no dia 23 de abril às 15h30, no ambiente de cozinha ao leste. O recinto de área de serviço apresentou maior valor de iluminância na orientação solar leste, com 824 lx no dia 23 de outubro às 9h30.

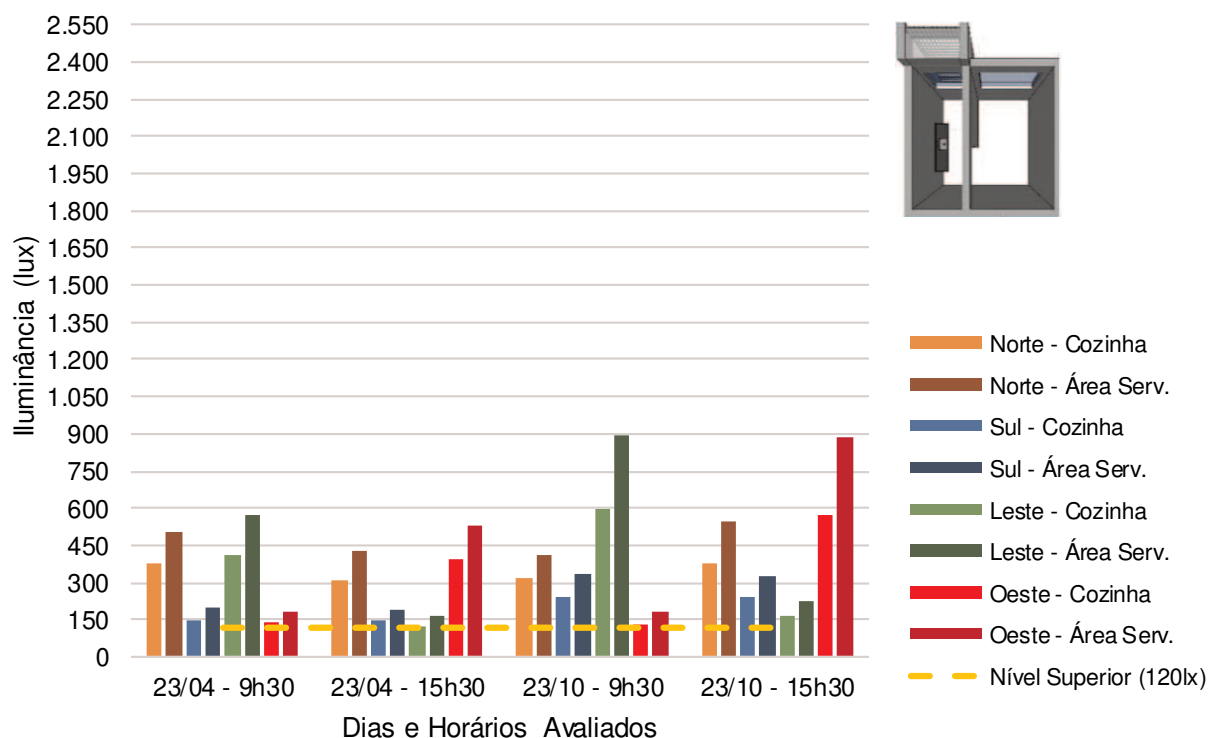
Figura 33 - Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo I3, com base na NBR 15575



Fonte: Elaborado pela autora.

O último modelo analisado, I4 (Figura 34), que possuía brise de proteção solar, diferiu-se dos demais modelos em razão da classificação do desempenho lumínico obtido. Enquanto nos modelos anteriores todas as orientações solares foram classificadas como desempenho lumínico superior, o modelo I4 apresentou três orientações solares com performance acima de 120 lx e uma orientação solar com classificação de desempenho lumínico intermediário, identificado no ambiente de cozinha, no qual se obteve 119 lx com orientação solar ao leste no dia 23 de abril às 15h30. A maior iluminância, 895 lx, foi encontrada na área de serviço ao leste, no dia 23 de outubro às 9h30.

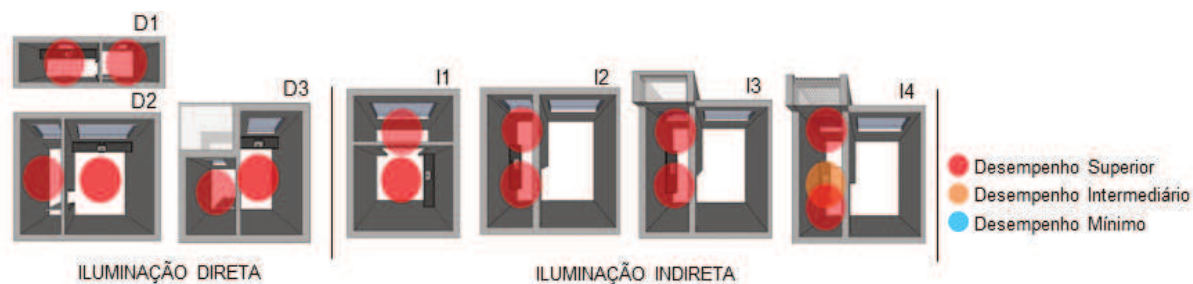
Figura 34 – Resultados de iluminância no centro geométrico dos ambientes do modelo I4, com base na NBR 15575



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, com base nos resultados das simulações computacionais de maneira estática, apenas o recinto de cozinha do modelo I4 na orientação solar leste foi classificado como desempenho lumínico intermediário. Porém, nas demais orientações solares a cozinha do modelo I4 foi classificada como desempenho superior, assim como todos os outros ambientes nas quatro orientações solares (Figura 35).

Figura 35 – Síntese de resultados conforme método da NBR 15575



Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda de acordo com os resultados encontrados, os menores valores de iluminância sempre ocorreram no dia 23 de abril no horário das 15h30 na orientação solar leste. Os maiores níveis de iluminância concentraram-se entre os dois horários do dia 23 de outubro: às 9h30, com orientação solar leste, e, às 15h30 com orientação solar oeste – períodos com maior probabilidade de incidência de luz solar direta. Portanto, com base nos modelos analisados, esses períodos e orientações solares específicos são considerados os que requerem maior atenção para com os níveis de iluminância interna dos ambientes, pois a redução do valor de iluminância pode acarretar na necessidade de utilização da luz artificial, à medida que elevados valores de iluminamento podem causar ofuscamento nos ocupantes e aumento da carga térmica dos ambientes.

No que diz respeito as 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 de análise da manhã e da tarde. A orientação a leste apresentou maiores valores nos horários das 9h30, enquanto que a posição solar a oeste obteve maior iluminância às 15h30, situação que ocorre pela incidência de radiação solar de maneira direta nos ambientes nesses momentos. Ressalta-se que, para a classificação do desempenho lumínico, é necessário atingir os valores mínimos indicados pela normativa no ponto do centro geométrico em todos os dias e horários propostos.

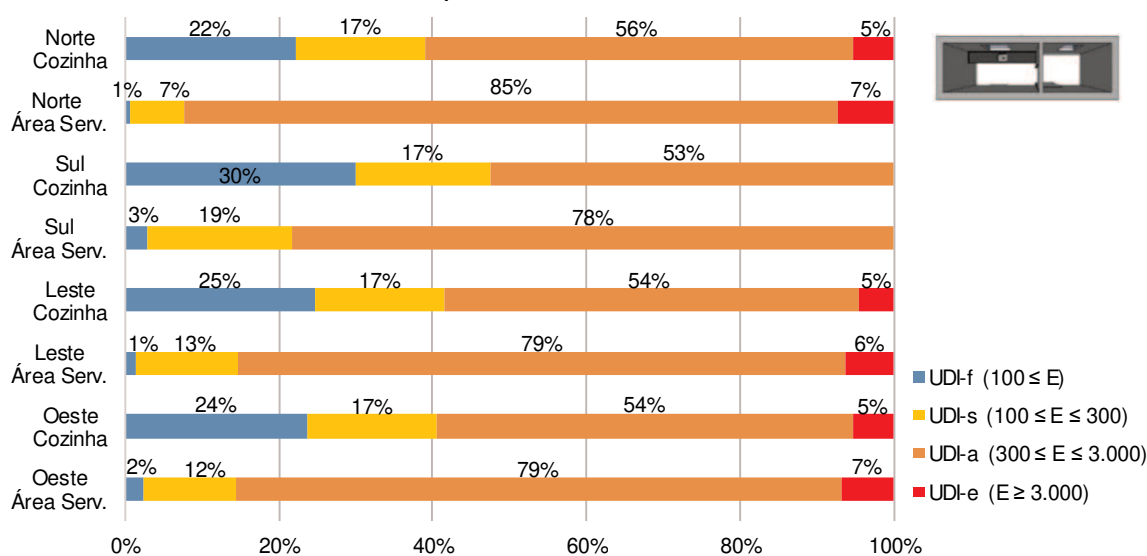
Em relação ao método indicado pela NBR 15575, pode-se inferir que o critério de análise para classificação do desempenho lumínico é limitado e pouco preciso. A análise de maneira estática restringe a avaliação a dias, horários e tipo de céu específicos, não retratando a realidade das nuances da luz solar.

4.3 Desempenho Lumínico – *Useful Daylight Illuminances*

O método UDI avalia os ambientes internos de maneira dinâmica ao longo de um ano, de acordo com o percentual em que cada ponto medido atinge os seguintes intervalos de iluminância: $E \leq 100$ é considerado intervalo de iluminância *fell-short* (UDI-f); $100 \leq E \leq 300$ é intervalo de iluminância suplementar (UDI-s); $300 \leq E \leq 3.000$ é intervalo de iluminância autônoma (UDI-a); e $E \geq 3.000$ é intervalo de iluminância excedente (UDI-e). Conforme indicado pelo método, cada modelo foi analisado ao longo de 365 dias, totalizando 3.650 horas em cada orientação solar.

Na Figura 36, observam-se os percentuais de horas em que a iluminância dos ambientes de cozinha e de área de serviço do modelo D1 foi identificada dentro dos intervalos de UDI. Os melhores resultados foram obtidos para o ambiente de área de serviço, sendo que, em todas as orientações solares, os valores permaneceram no intervalo de iluminância autônoma por mais de 78% do total de horas e no intervalo suplementar entre 7% e 19%. O ambiente de cozinha manteve-se uniforme no intervalo autônomo nas diferentes orientações solares, variando entre 53% e 56% do total de horas analisadas, complementado com 17% no intervalo suplementar. No intervalo *fell-short*, os valores obtidos para o ambiente de área de serviço foram insignificantes, enquanto que o ambiente de cozinha variou entre 22% e 30%. O intervalo excedente registrou percentuais abaixo de 7% do total de horas analisadas, representando, aproximadamente, uma hora por dia acima de 3.000 lx.

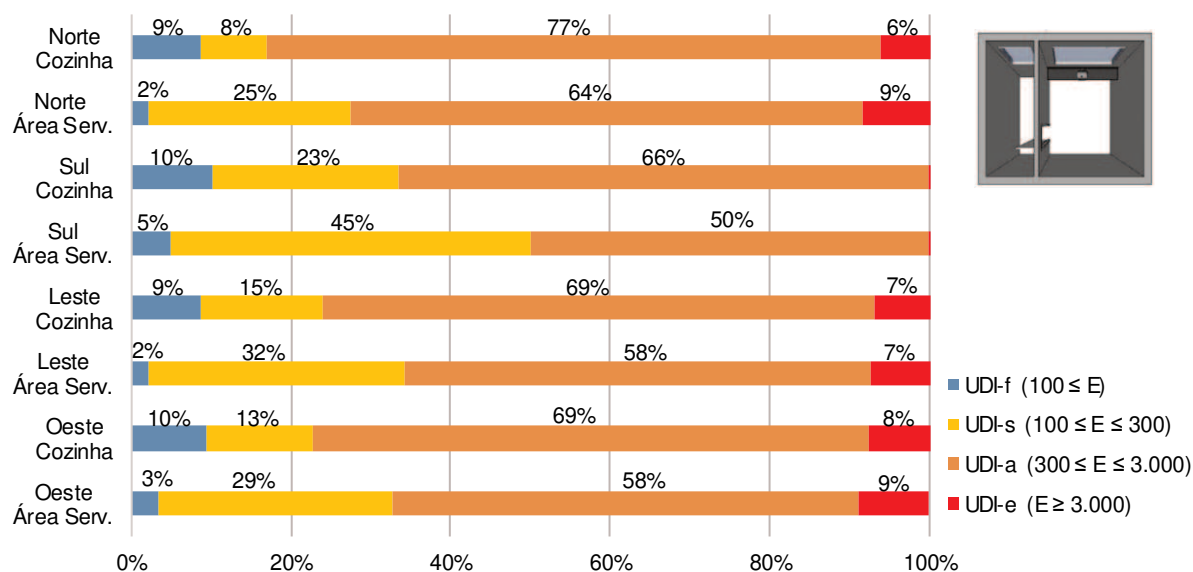
Figura 36 - Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo D1



Fonte: Elaborado pela autora.

No modelo D2 (Figura 37), a cozinha permaneceu entre 66% e 77% do período total no intervalo autônomo nas diferentes orientações solares, e os demais percentuais foram distribuídos nos outros intervalos, principalmente no suplementar, variando entre 8% e 23%. Já a área de serviço, no intervalo autônomo, ficou entre 50% e 64% do total e, no intervalo suplementar, entre 25% e 45%. Tanto os valores do intervalo insuficiente quanto do intervalo excedente permaneceram abaixo dos 10% das 3.650 horas analisadas.

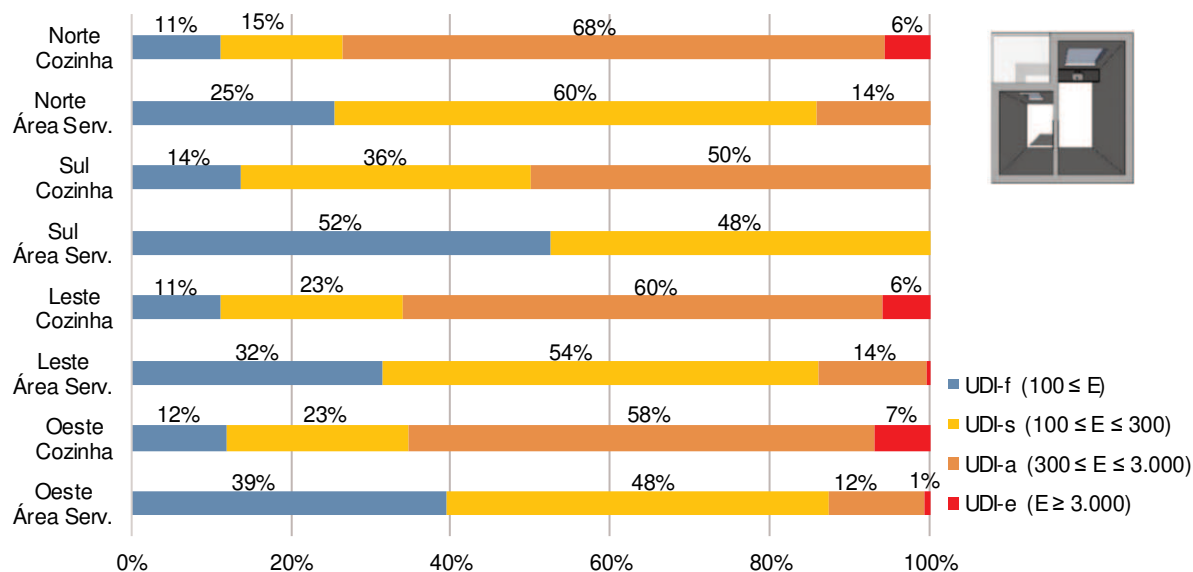
Figura 37 - Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo D2



Quanto as proporções dos ambientes dos modelos D1 e D2, os maiores valores de intervalo autônomo do ambiente de área de serviço foram observados no modelo D1, com proporções próximas a de um quadrado. No ambiente de cozinha os melhores níveis UDI-a também foram observados no objeto de estudo em formato mais quadrado, ou seja, no modelo D2.

A cozinha do modelo D3 (Figura 38) variou conforme a orientação solar entre 50% e 68% no intervalo autônomo, entre 15% e 36% no intervalo suplementar e entre 11% e 14% no intervalo *fell-short*. As porcentagens de horas do ambiente de área de serviço, que apresentava elemento de reflexão, concentraram-se no intervalo suplementar, variando entre 48% e 60%, o que indicou que pode ser necessária a utilização de iluminação artificial para realização de atividades de maneira mais adequada. A segunda maior concentração de percentual de horas analisadas da área de serviço foi observada no intervalo *fell-short*, com variação de 25% a 52%, sendo que o maior percentual observado foi na orientação solar sul. Os valores do intervalo excedente ficaram abaixo de 7%, sendo que alguns ambientes não apresentaram nenhum período acima de 3.000 lx.

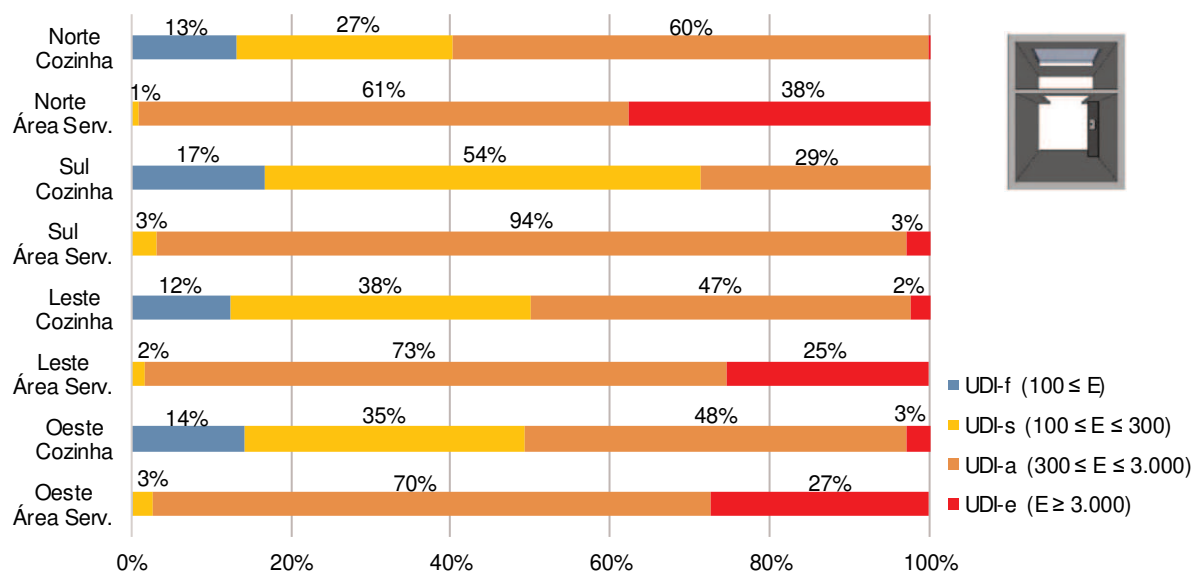
Figura 38 – Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo D3



Fonte: Elaborado pela autora.

No modelo I1 (Figura 39), no qual a cozinha é iluminada apenas pela abertura localizada na área de serviço, os maiores percentuais de iluminância se concentraram no intervalo autônomo, com exceção da orientação solar sul. Os ambientes de cozinha com orientação solar ao norte, leste e oeste variaram entre 47% e 60% no intervalo autônomo e entre 27% e 38% no intervalo suplementar, enquanto que a cozinha com orientação ao sul permaneceu em 29% no intervalo autônomo e 54% no intervalo suplementar, na qual pode ser que haja a necessidade de acendimento da iluminação artificial. O ambiente de área de serviço com orientação solar ao sul obteve o melhor resultado, sendo que se manteve no intervalo autônomo em 94% do período total. Nas demais orientações solares, os valores para a área de serviço variaram entre 61% e 73% no intervalo suplementar e entre 25% e 38% no intervalo autônomo. No intervalo *fell-short*, os ambientes de cozinha variaram entre 12% e 17%, enquanto que os ambientes de área de serviço apresentaram valores abaixo de 3%, porém, elevados no intervalo excedente, variando entre 25% e 38% do total de 3.650 horas analisadas em cada orientação solar.

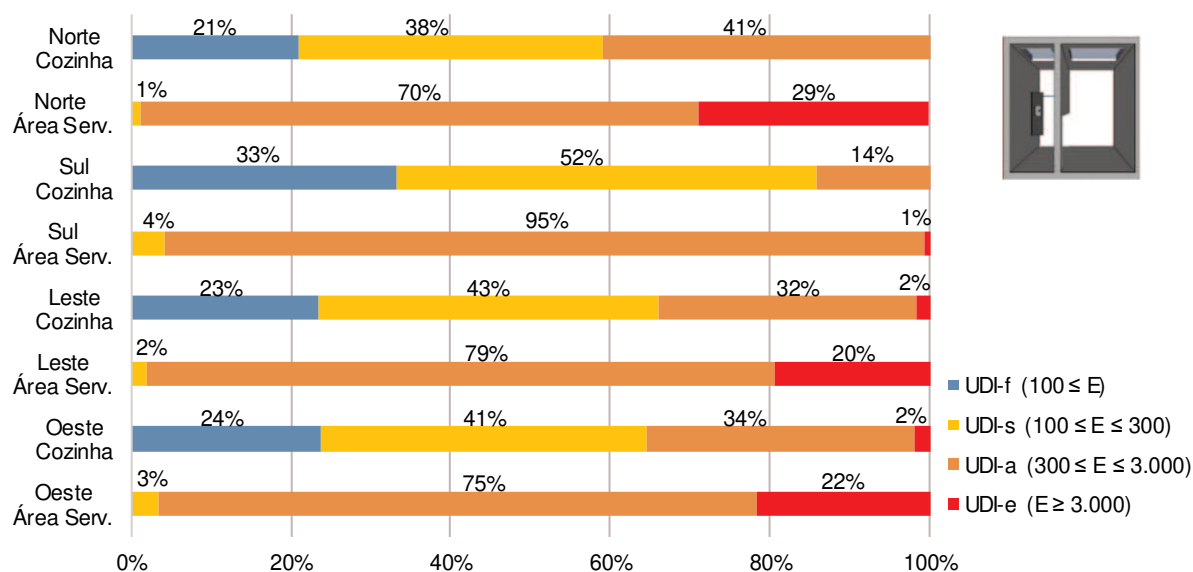
Figura 39 – Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo I1



Fonte: Elaborado pela autora.

No modelo I2, em que a cozinha é iluminada de maneira indireta, o ambiente de área de serviço é o que apresenta maiores percentuais no intervalo autônomo, variando entre 70% e 95%, sendo que o maior valor foi identificado na orientação solar sul. Os demais percentuais foram identificados no intervalo suplementar, entre 1% e 4%, e no intervalo excedente, que apresentou valores elevados para as orientações norte, leste e oeste, entre 20% e 29%, e apenas 1% na orientação sul. A cozinha, nas orientações solares norte, leste e oeste, variou entre 32% e 41% no intervalo autônomo, entre 38% e 43% no intervalo suplementar e entre 21% e 24% no intervalo *fell-short*. Já a cozinha ao sul permaneceu em apenas 14% no autônomo, 52% no suplementar e 33% no insuficiente, representando, assim, 85% de probabilidade de iluminação artificial ligada para o desenvolvimento de atividades de maneira adequada. Os valores do ambiente de cozinha no intervalo excedente ficaram abaixo de 2%. Na Figura 40, observam-se os resultados obtidos para o modelo I2.

Figura 40 – Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo I2



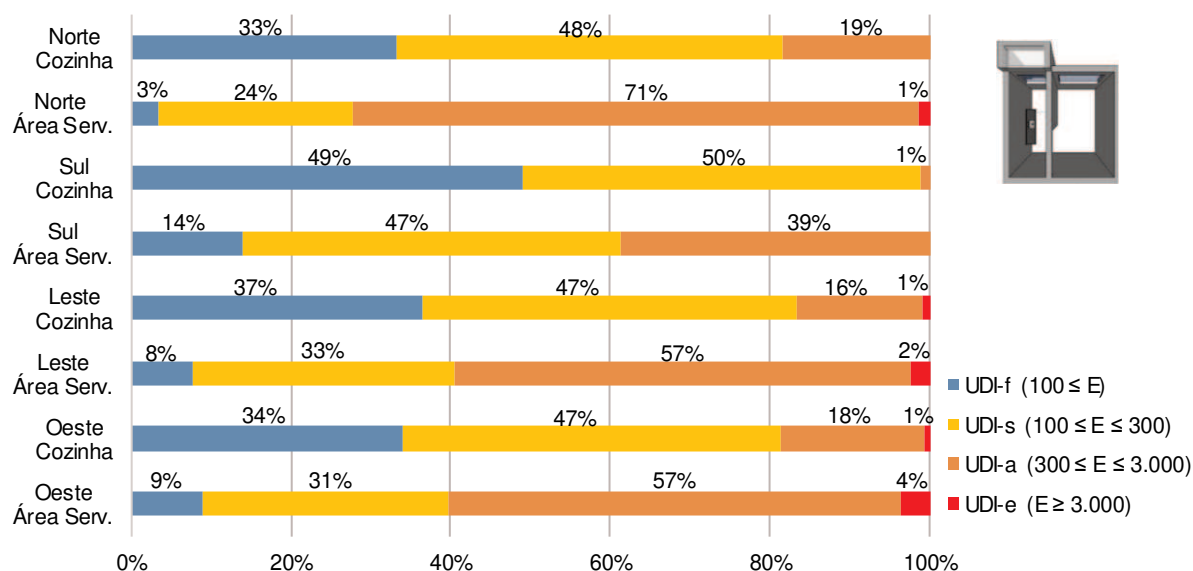
Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação a proporção espacial dos objetos de estudo com iluminação indireta previamente apresentados, os melhores níveis de intervalo autônomo foram observados nos ambientes com formato próximo a de um quadrado, assim como nos modelos com iluminação direta. Assim, o ambiente de cozinha com maiores níveis UDI-a foram obtidos no modelo I1, a medida que para o ambiente de área de serviço os maiores valores foram encontrados no modelo I2.

Na Figura 41, são apresentados os resultados obtidos para o modelo I3, que possuía laje técnica como elemento de reflexão. Os maiores percentuais de horas ocorreram no intervalo de iluminância autônoma para o ambiente de área de serviço nas orientações solares norte, leste e oeste, variando entre 57% e 71%. A área de serviço com orientação solar sul permaneceu 39% no intervalo autônomo. Os demais percentuais do recinto de serviço foram distribuídos nos outros intervalos de iluminância, concentrando-se no suplementar, que variou entre 24% e 47%, conforme as diferentes orientações solares. O ambiente de cozinha apresentou maior porcentagem de horas dentro do intervalo suplementar, próximo aos 50%, seguido pelo intervalo *fell-short*, em que permaneceu acima de 33%, sendo o maior valor para a orientação solar sul com 49% do tempo. No intervalo autônomo, a cozinha ao sul apresentou valor insignificante, enquanto que, nas orientações norte,

leste e oeste, variou entre 16% e 19%. Em ambos os ambientes, os valores do intervalo excedente ficaram abaixo de 4% do total de horas analisadas.

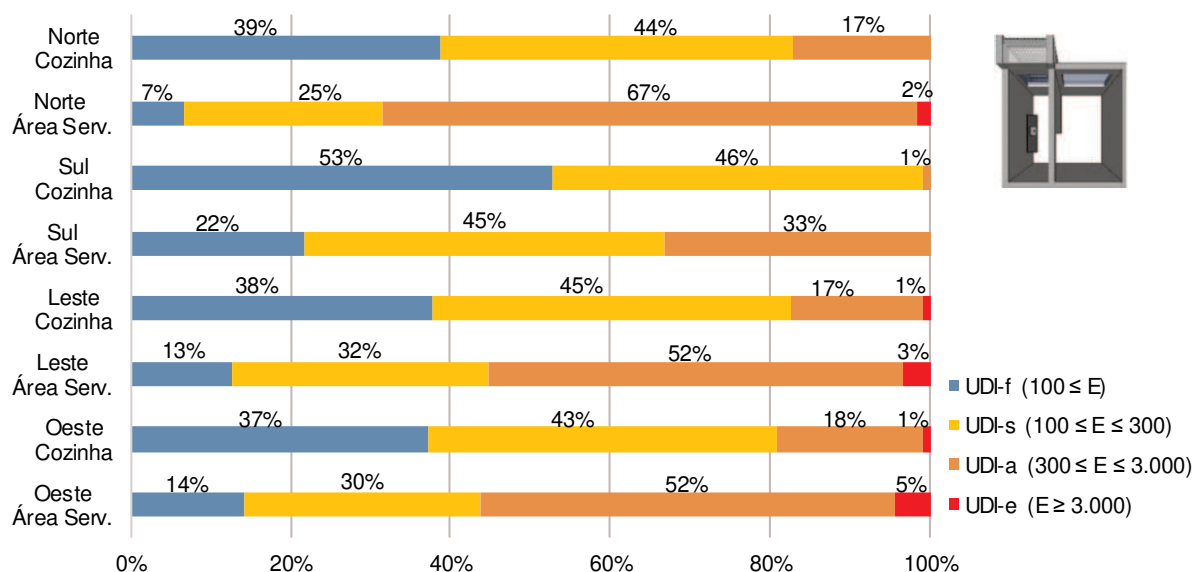
Figura 41 – Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo I3



Fonte: Elaborado pela autora.

Com brise de proteção solar, o modelo I4 obteve resultados semelhantes ao modelo I3. Conforme observado na Figura 42, os maiores percentuais foram identificados no ambiente de área de serviço com orientação solar norte, leste e oeste, variando entre 52% e 67% do tempo no intervalo autônomo, ao passo que a orientação sul se manteve por 33% do total de horas. No intervalo suplementar e no intervalo *fell-short*, a área de serviço ao sul foi identificada com, respectivamente, 45% e 22%. As demais orientações solares do recinto de serviço tiveram variação de 25% a 32% no intervalo entre 100 e 300 lx e de 7% a 14% no intervalo abaixo de 100 lx. O ambiente de cozinha permaneceu por mais horas no intervalo suplementar de maneira uniforme nas diferentes posições solares, variando entre 43% e 46%. Os demais horários foram obtidos no intervalo de iluminâncias *fell-short* entre 37% e 53% e no autônomo com variação de 17% a 18%. No intervalo excedente, os valores obtidos foram abaixo de 5%, representando menos de uma hora por dia nessa condição.

Figura 42 – Resultados de percentuais nos intervalos de iluminância do método UDI para o modelo I4



Fonte: Elaborado pela autora.

Com os resultados obtidos por meio do método UDI, conclui-se que os modelos com iluminação direta permaneceram maior tempo no intervalo de iluminância autônoma, considerado o de melhor desempenho, complementado pelo intervalo suplementar, no qual há a probabilidade de ligação da luz artificial para desempenho de atividades de maneira mais adequada. Ainda em relação aos modelos com iluminação direta, o D3, que apresentava elemento de reflexão no recinto de serviço, foi o que apresentou maiores percentuais dentro do intervalo *fell-short*. Dos 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 encontrados no intervalo *fell-short* foram observados nos modelos I3 e I4, ao passo que, acima de 3.000 lx, foram identificados nos ambientes de serviço dos modelos I1 e I2. Assim, com base nas simulações computacionais realizadas, salienta-se que 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, bem como o modelo que apresentava brise de proteção solar, que visa diminuir a incidência direta de sol, mas que também reduziu a quantidade de luz refletida para o interior dos ambientes.

Por meio de comparação, constatou-se que dos treze ambientes classificados como desempenho lumínico superior pela NBR 15575, oito deles foram identificados em 50%, ou mais, do tempo total nos intervalos de iluminância em que a probabilidade da luz artificial ser requisitada é elevada, ou seja, nos intervalos *fell-short* e suplementar. Quanto as diferentes orientações solares, comparando o mesmo ambiente, os maiores índices de intervalo autônomo foram observados na orientação solar norte nas diferentes configurações espaciais. Nas orientações solares leste e oeste os níveis dos intervalos variaram conforme a configuração espacial e as proporções internas, mas apresentaram valores semelhantes quando comparadas entre si. Os ambientes posicionados à sul apresentaram menores índices no intervalo excedente, ao mesmo tempo em que tiveram maiores ocorrências do intervalo *fell-short*.

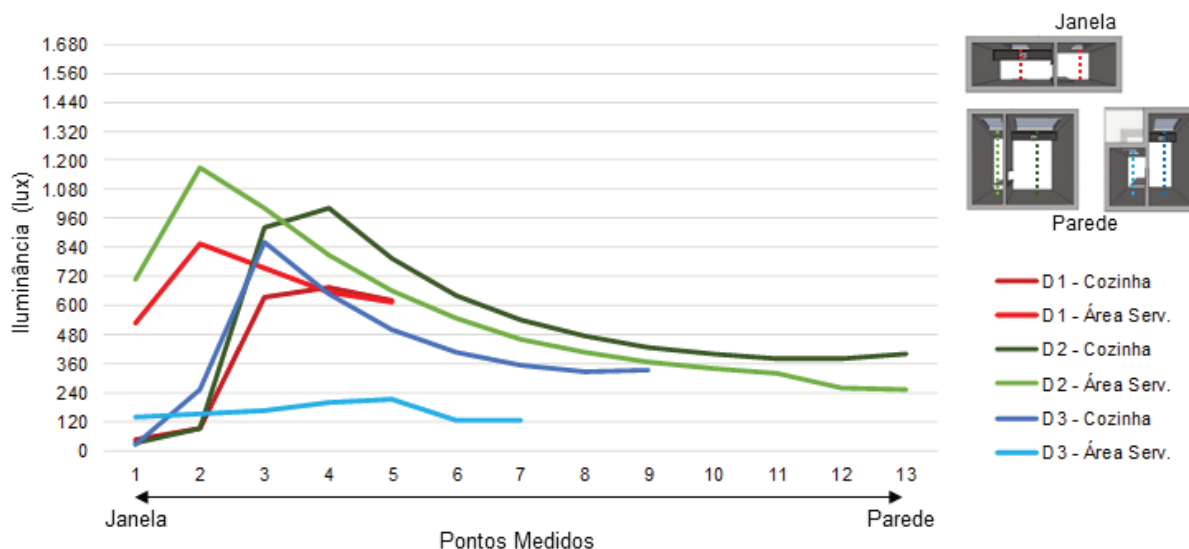
Em relação ao método UDI, a análise de maneira dinâmica ao longo de um ano completo permite que a classificação da iluminância interna seja mais efetiva, uma vez que pondera todos os pontos de medição do ambiente. Além disso, considera as diferentes estações do ano e os diferentes tipos de céu, conforme o arquivo climático padrão utilizado. Porém, nesse caso, faz-se a necessidade de dados climáticos atualizados a fim de que os resultados sejam os mais precisos possíveis.

4.4 Síntese de Resultados

Com os resultados obtidos pelas simulações computacionais, análises e comparativos puderam ser realizados a fim de complementar o trabalho. A redução dos níveis de iluminância conforme o afastamento da abertura, situação característica da iluminação unilateral, foi analisada por meio de medição com base nos critérios da NBR 15575. Tanto nos modelos com iluminação de maneira direta quanto indireta, mediu-se o nível de iluminância nos pontos da linha central dos ambientes, considerando o primeiro ponto como o mais próximo da janela e o último, adjacente à parede oposta à abertura. A medição foi realizada na orientação solar sul, nos dias e horários sugeridos pela normativa (23/04 e 23/10 às 9h30 e às 15h30), totalizando em quatro horários de medição e, por meio de média aritmética, foi estabelecido o valor final de iluminância de cada ponto.

A Figura 43 apresenta a iluminância dos pontos medidos na linha central dos ambientes de cozinha e de área de serviço dos modelos com iluminação direta. Excetuando a área de serviço do modelo D3, os demais ambientes apresentaram um padrão nos resultados. De acordo com o gráfico, é possível perceber um pico de iluminância a partir do segundo ponto medido, pois os dois primeiros tiveram influência da bancada da pia e do peitoril da janela, ambos com altura acima do plano de referência de 75 cm. Após a elevação dos níveis de iluminância, ocorreu a redução dos valores conforme o afastamento da abertura, sendo que o modelo D2 apresentou maior quantidade de luz incidente nos dois ambientes analisados. No recinto de cozinha do modelo D1, os primeiros pontos tiveram interferência da bancada da pia e, após o pico de iluminância, a diminuição ocorreu de maneira menos significativa em função da profundidade do ambiente, enquanto que a redução foi mais elevada na área de serviço do mesmo modelo, pois o primeiro ponto medido sofreu influência apenas da abertura. A área de serviço do modelo D3 diferenciou-se dos demais resultados, pois os valores de iluminância tenderam para a uniformidade ao longo da linha de pontos medidos, situação que decorreu pela existência de laje técnica como elemento externo e que reduziu os valores de todo o ambiente. Na cozinha dos modelos D2 e D3, houve pequeno aumento de iluminância nos últimos pontos medidos pela influência da refletância da parede oposta à abertura. Ressalta-se que, com exceção dos primeiros dois pontos medidos localizados abaixo da bancada da pia, os demais apresentaram valores acima de 120 lx.

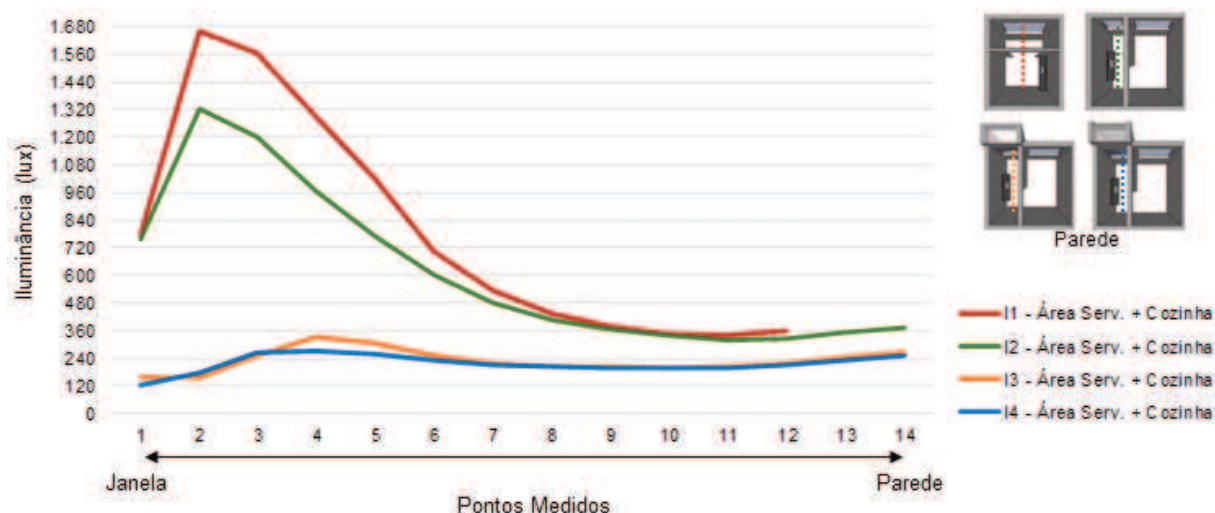
Figura 43 – Média de Iluminância obtida nos pontos da linha central dos ambientes dos modelos com iluminação direta



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 44, observam-se os valores de iluminância medidos nos pontos da linha central dos ambientes de área de serviço e de cozinha, dispostos linearmente, nos objetos de estudo com iluminação indireta. Os modelos I1 e I2 apresentaram o mesmo padrão nos resultados obtidos, considerando que ambos tiveram pico dos valores de iluminância em função da influência da abertura no primeiro ponto medido, seguido de redução dos níveis de luz natural conforme afastamento da abertura. Ambos os modelos não possuíam elementos externos, mas se diferiram pela geometria, sendo que o primeiro, que apresentou valores mais elevados, possuía maior dimensão de largura. O modelo I3 com laje técnica e o I4 com brise de proteção apresentaram valores mais baixos que os anteriores, porém, uniformes e bastante aproximados ao longo de todo o eixo medido. No gráfico, também se observa a elevação dos níveis de iluminância nos últimos pontos medidos em função da refletância das paredes adjacentes. Destaca-se, novamente, os níveis de iluminância obtidos acima de 120 lx nos pontos medidos, com exceção do primeiro ponto dos modelos I3 e I4.

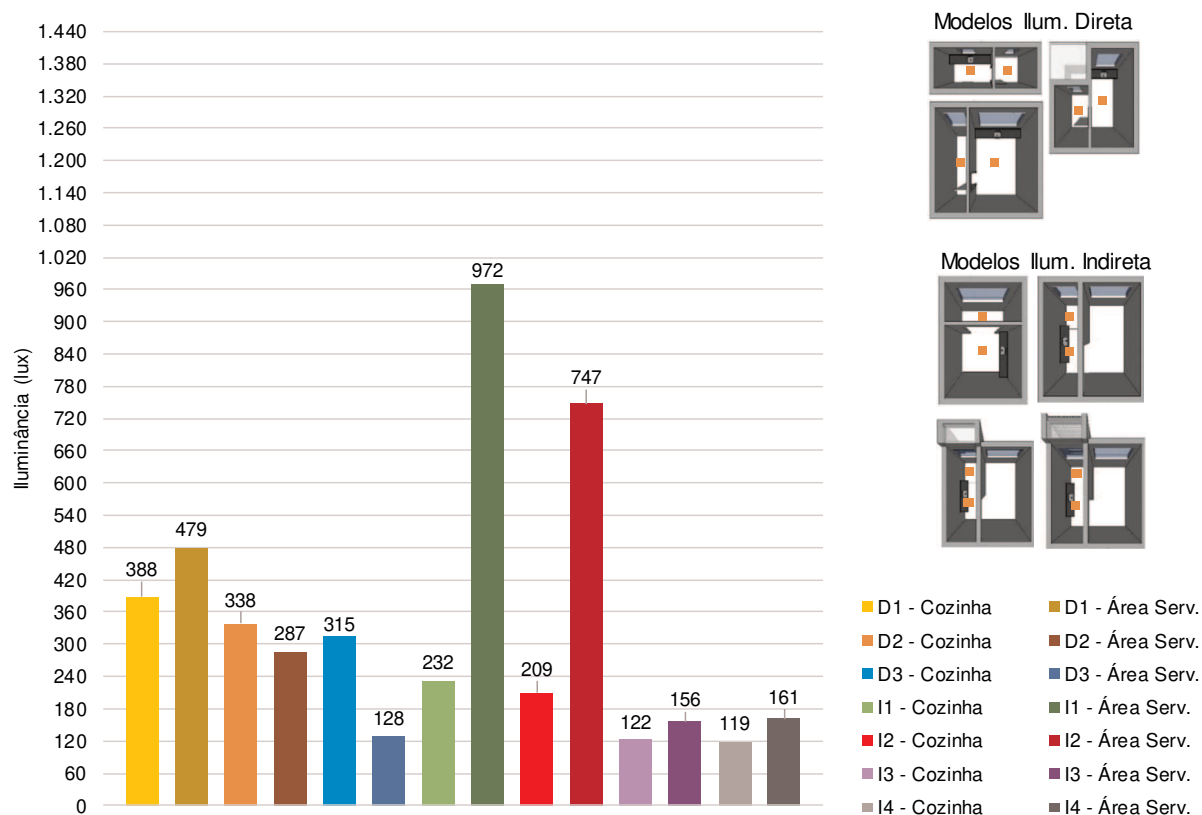
Figura 44 – Média de iluminância obtida nos pontos da linha central dos ambientes dos modelos com iluminação indireta



Fonte: Elaborado pela autora.

Os menores e os maiores valores de iluminância obtidos no centro geométrico na primeira etapa de simulações computacionais também foram comparados. Na Figura 45, observa-se o menor valor de iluminância no centro geométrico de cada modelo, sempre identificado no dia 23 de abril às 15h30 na orientação solar leste. Comprova-se que os modelos com iluminação de maneira direta apresentaram similaridade nos resultados, com exceção do modelo D3, que possuía laje técnica no ambiente de área de serviço. Dentre os modelos com iluminação direta, o D1 apresentou maior nível de iluminância em relação aos outros em função de sua geometria com menor dimensão de profundidade. Os modelos I1 e I2, com iluminação de maneira indireta, apresentaram valores elevados para o ambiente de área de serviço se comparados com o ambiente de cozinha, e observa-se que as diferentes geometrias não influenciaram no padrão dos resultados obtidos. Os modelos I3 e I4 obtiveram valores aproximados entre os dois ambientes e menor valor de iluminância quando comparados ao modelo I2, que apresentava a mesma geometria interna, mas não possuía elemento externo. Destaca-se o fato de que, para a classificação do desempenho lumínico conforme a NBR 15575, o critério de análise é o nível de iluminância no ponto do centro geométrico de cada ambiente, porém, em nenhum caso, o ponto medido coincidiu com a bancada da pia, que representa o plano de trabalho da cozinha, mas, sim, com áreas favoráveis à circulação de pessoas, não sendo possível garantir o mesmo nível de desempenho lumínico nesse importante plano de atividades.

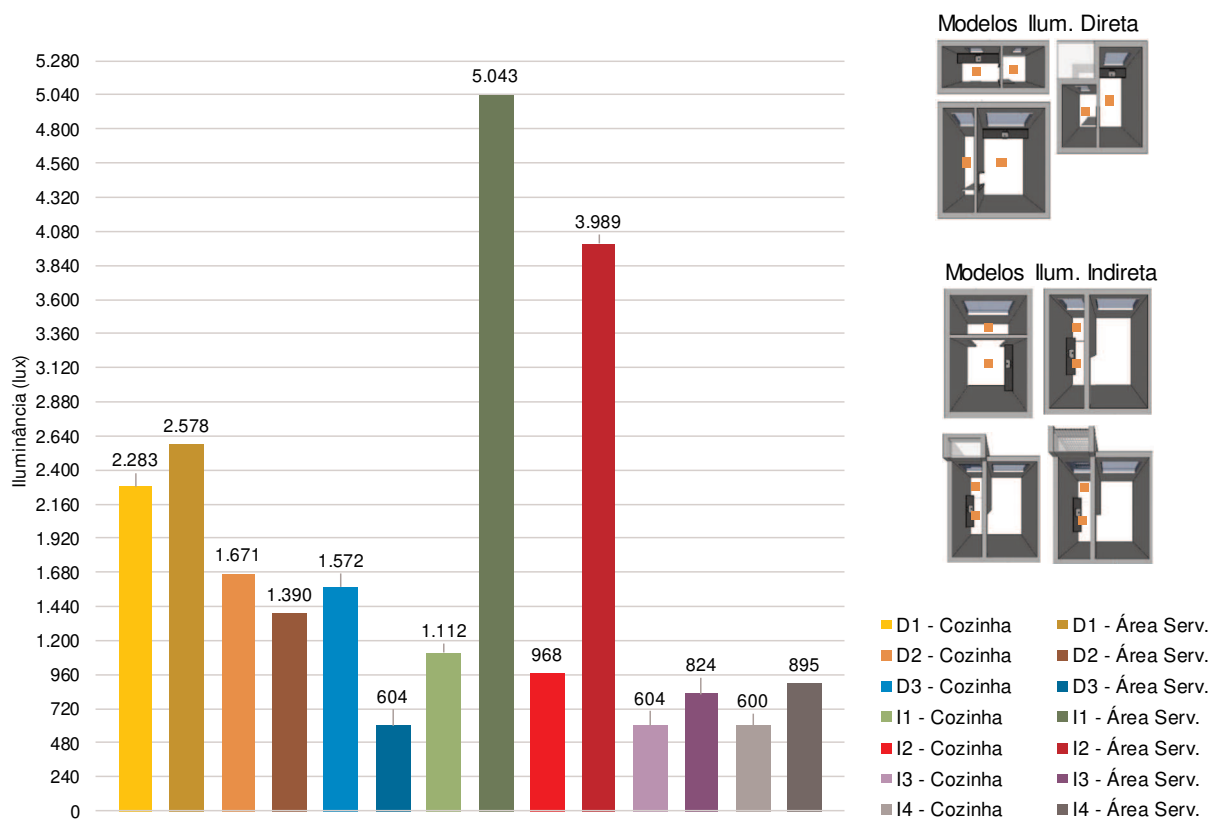
Figura 45 – Menor valor de iluminância obtido no centro geométrico de cada ambiente



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 46, observam-se os maiores níveis de iluminância obtidos para o centro geométrico de cada ambiente, que se concentraram no dia 23 de outubro às 9h30 na orientação solar leste e às 15h30 na orientação solar oeste. Nos modelos com iluminação direta, os valores encontrados foram aproximados, com exceção da área de serviço do modelo D1. Os ambientes de área de serviço dos modelos I1 e I2 obtiveram elevados valores de iluminância se comparados com a cozinha, disposta de maneira linear no projeto arquitetônico, enquanto que, nos modelos I3 e I4, com elementos externos, a variação de iluminância entre os ambientes foi menor, ainda que significativa, representando até 295 lx.

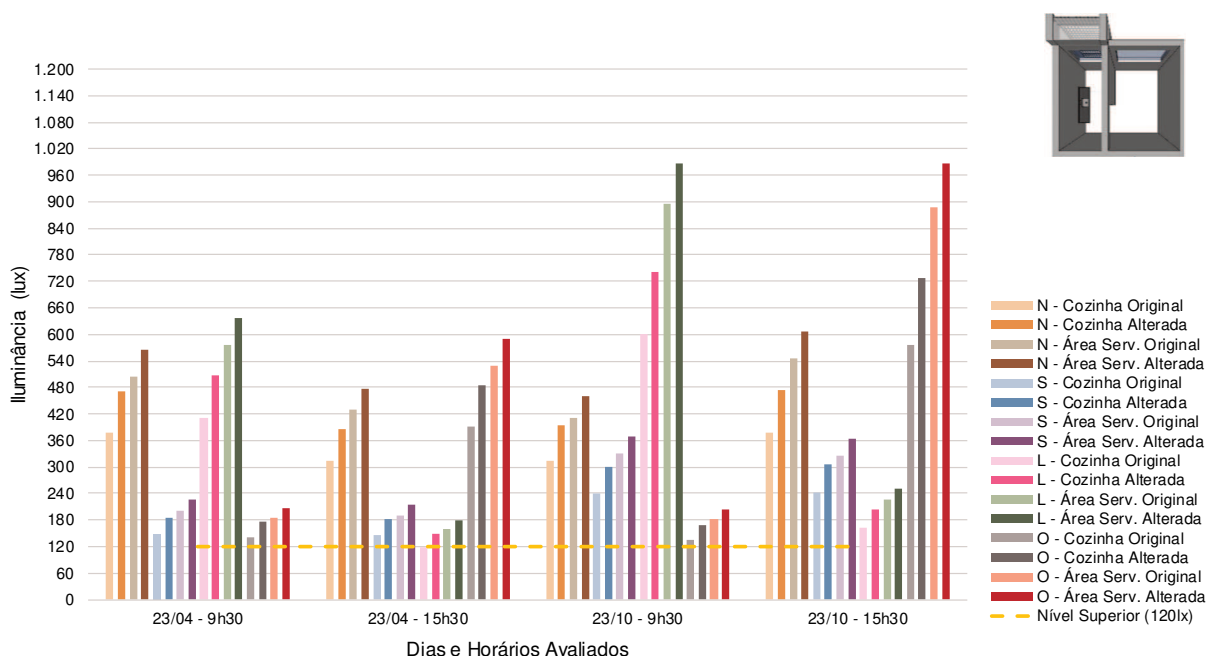
Figura 46 – Maior valor de iluminância obtido no centro geométrico de cada ambiente



A cozinha do modelo I4 foi o único ambiente que obteve classificação de desempenho lumínico intermediário, pois, no dia 23 de abril às 15h30 na orientação leste, foi identificado o nível de iluminância de 119 lx, abaixo dos 120 lx indicados pela NBR 15575. A fim de alcançar o nível superior de desempenho, fez-se a simulação computacional do mesmo modelo alterando apenas a refletância do piso interno. Foi utilizada a amostra de piso com acabamento acetinado na cor branca, que obteve 63% de valor de refletância na radiação visível, 17% acima do utilizado na primeira etapa de análise. A simulação computacional foi realizada em todos os dias e horários, nas quatro orientações solares, conforme observado no comparativo da Figura 47. Constata-se o aumento dos níveis de iluminância dos pontos centrais dos ambientes em todos os dias e horários analisados. Os menores valores de incremento ocorreram no dia 23 de outubro às 9h30 na orientação solar leste com, respectivamente, 34 lx e 22 lx para os ambientes de cozinha e de área de serviço, à medida que os maiores valores foram identificados no dia 23 de outubro às 15h30 na orientação oeste, com aumento de 152 lx no ambiente de cozinha e 97 lx na área

de serviço. A cozinha com orientação solar leste passou de 119 lx para 148 lx, incremento de 29 lx, sendo assim, classificada como desempenho lumínico superior.

Figura 47 – Comparativo de iluminância do modelo I4 com refletância do piso original e alterado

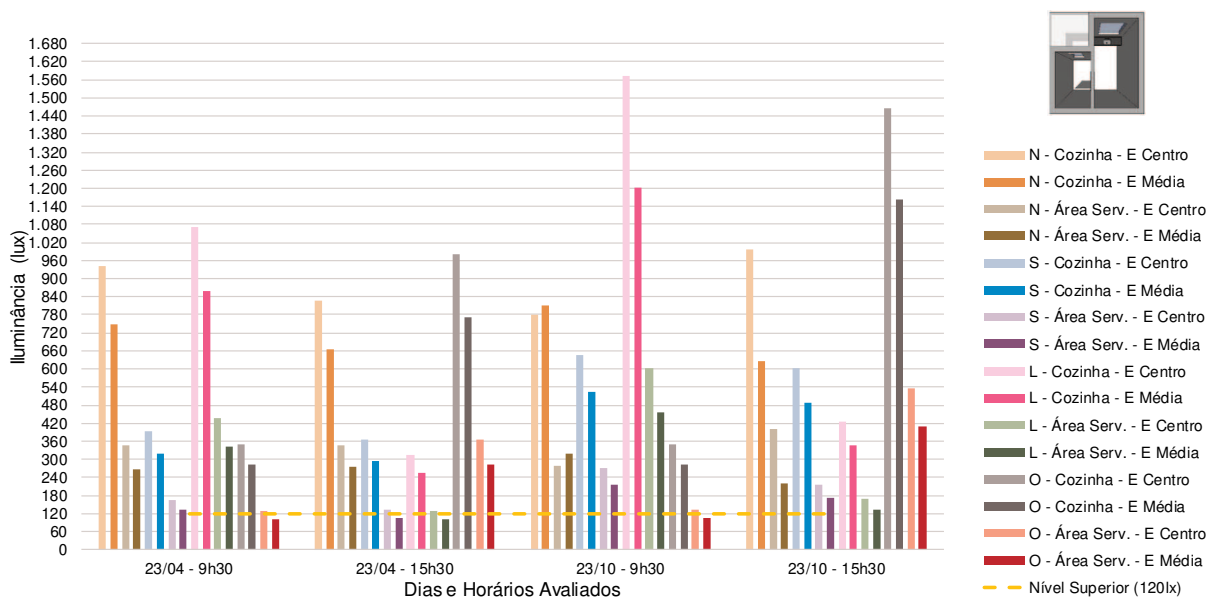


Fonte: Elaborado pela autora.

Com o objetivo de analisar a diferença entre a iluminância no ponto do centro geométrico e a iluminância média do ambiente, fez-se o estudo com o modelo D3, objeto de estudo definido por apresentar o menor valor acima de 120 lx. A Figura 48 apresenta o comparativo realizado, em que se observa que os valores de iluminância média são menores que a luz incidente no centro geométrico medido, com exceção dos ambientes de cozinha e de área de serviço na orientação solar norte no dia 23 de outubro às 9h30. As maiores reduções de iluminância ocorreram na orientação leste no dia 23 de outubro às 9h30, com variação de 370 lx para o ambiente de cozinha e 149 lx na área de serviço. Destaca-se que, se o critério de classificação do desempenho lumínico fosse a iluminância média, considerando os mesmos intervalos propostos pela NBR 15575, o ambiente de área de serviço seria classificado como desempenho intermediário nas orientações solares sul, leste e oeste, pois a iluminância média observada foi abaixo de 120lx. Esse comparativo, com base no modelo simulado, indica que a utilização da iluminância média como

classificação de desempenho seria mais ponderada, pois consideraria o ambiente como um todo, incluindo áreas com menor presença de luz natural.

Figura 48 – Gráfico comparativo entre iluminância no centro geométrico e iluminância média do modelo D3

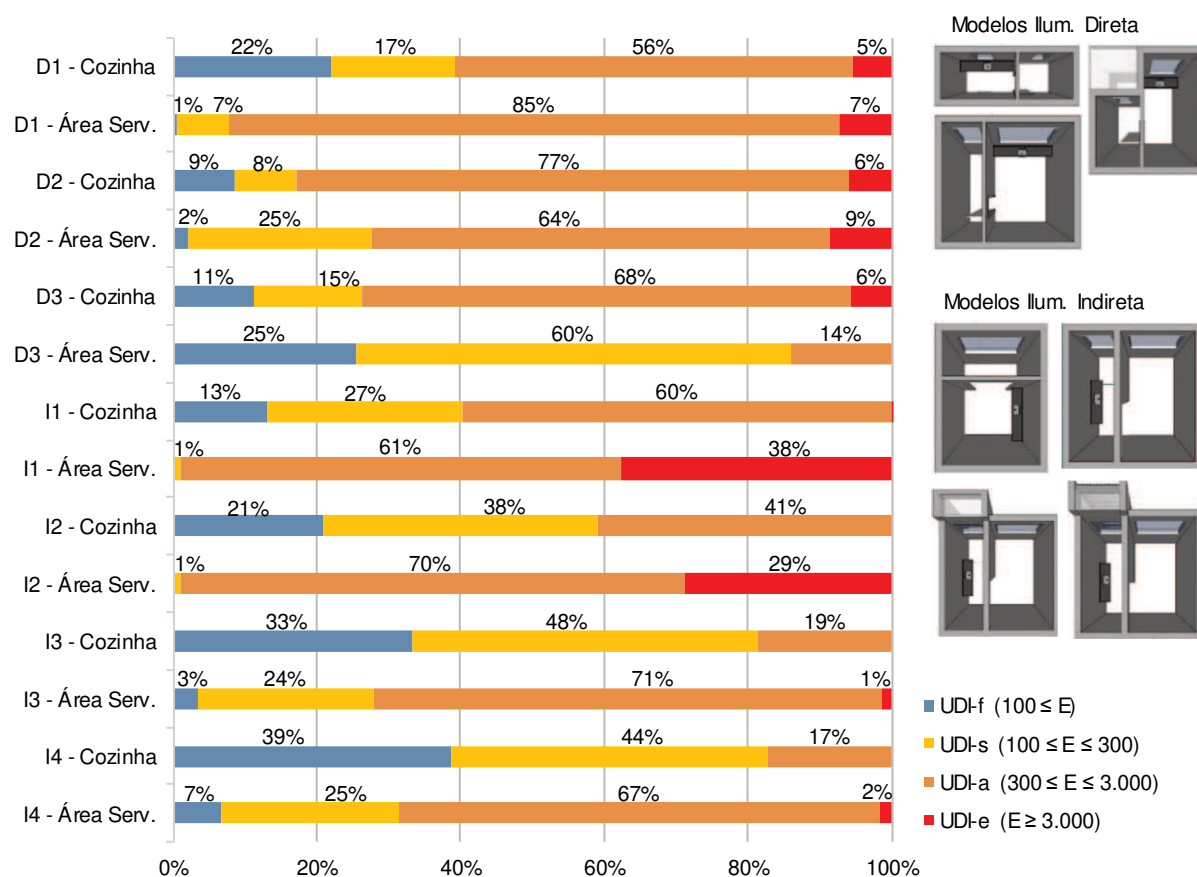


Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao método UDI, comparou-se os resultados obtidos nas orientações solares norte e sul dos diferentes modelos, a fim de observar o intervalo de iluminância mais frequente. Conforme observado na Figura 49, o intervalo com maior percentual de horas é o autônomo, considerado o de melhor desempenho de acordo com o método, tendo a cozinha do modelo D1 alcançado melhor resultado, com 85% do tempo total. O segundo intervalo de maior prevalência é o suplementar, com maior incidência na área de serviço do modelo D3 e nos ambientes de cozinha com iluminação indireta. Em relação ao intervalo excedente, os maiores valores foram encontrados na área de serviço dos modelos I1 e I3, enquanto que, nos modelos com iluminação direta, ficaram abaixo de 9%. De acordo com o gráfico, constata-se que os menores valores de iluminância foram observados nos modelos que possuíam elemento externo, tanto de reflexão quanto de proteção. Embora os ambientes de área de serviço dos modelos I3 e I4 tenham sido classificados como desempenho lumínico superior pela NBR 15575, os valores de iluminância permaneceram tempo considerável no intervalo *fell-short*, o equivalente a mais de três horas por dia no modelo I3 e mais de quatro horas diárias no modelo I4,

ressaltando que ambos são complementados pelo intervalo suplementar em aproximadamente 46% do tempo, resultando em grande probabilidade de luz artificial ligada no desenvolvimento de tarefas.

Figura 49 – Comparativo de resultados obtidos em percentuais por meio do método UDI na orientação solar norte

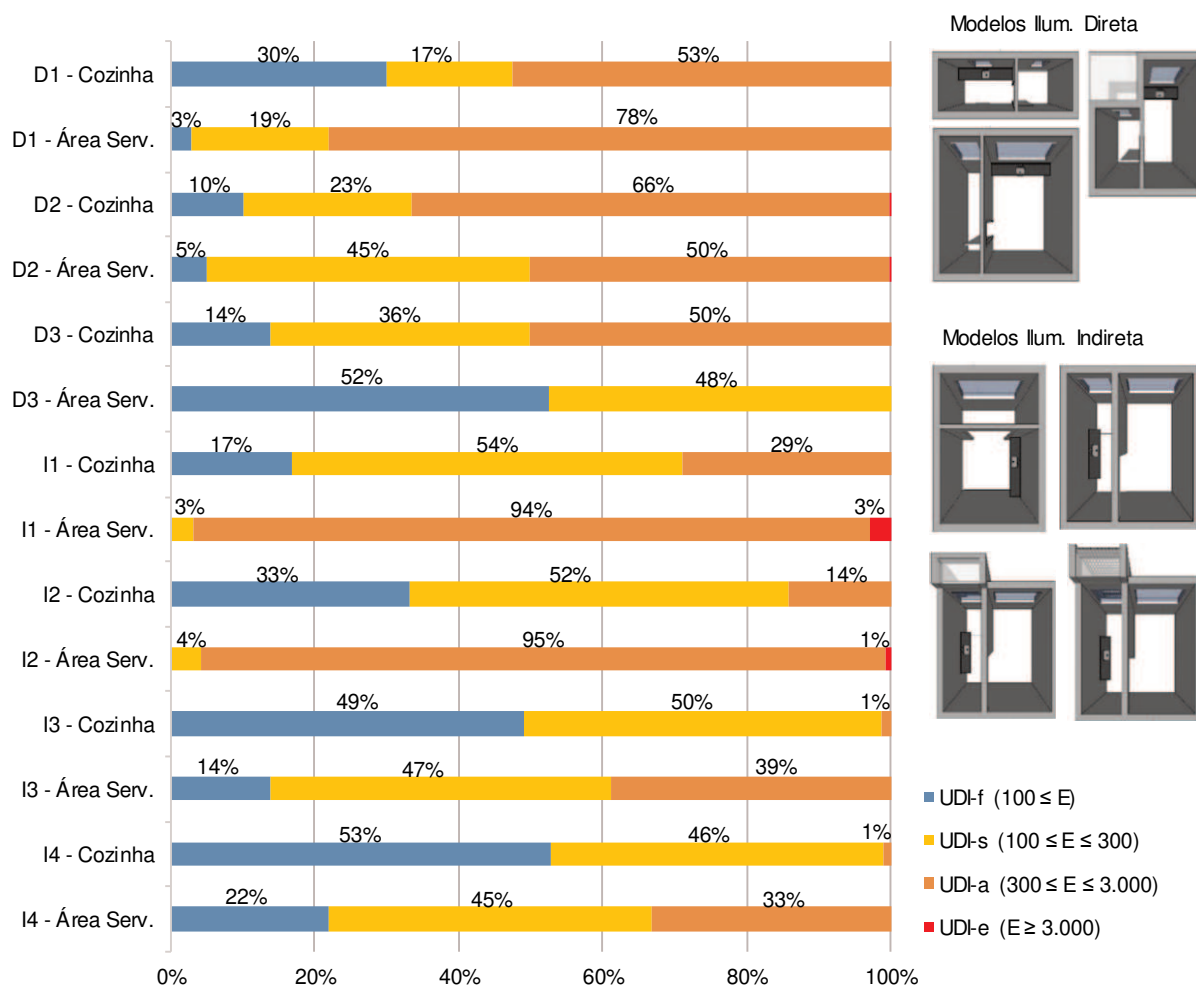


Fonte: Elaborado pela autora.

Na orientação solar sul, evidenciou-se, novamente, 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 50. O intervalo suplementar apresenta maior ocorrência dentre os modelos com iluminação de maneira indireta e observa-se, também, o aumento de percentual no intervalo *fell-short* quando comparado com a orientação solar norte, chegando a 53% na cozinha I4. Dentre os modelos com elemento externo, constata-se que esses permaneceram mais tempo no intervalo *fell-short*, seguido do intervalo suplementar. Embora classificados como desempenho lumínico superior com base na NBR 15575, em oito dos quatorze ambientes analisados – áreas de serviço do

D2, D3, I3 e I4, e cozinhas do D3, I1, I2 e I3 – a iluminação artificial pode ser requisitada em 50% ou mais do tempo total analisado, de acordo com o método UDI.

Figura 50 – Comparativo de resultados obtidos em percentuais por meio do método UDI na orientação solar sul



Quanto aos diferentes métodos de análise utilizados, evidencia-se que o menor valor de iluminância para que um ambiente seja classificado com desempenho lumínico superior pela NBR 15575 aproxima-se ao valor indicado para que a iluminância seja enquadrada no intervalo *fell-short* pelo método UDI. Portanto, ressalta-se a disparidade dos critérios de avaliação dos dois métodos utilizados, que geram resultados distintos e que podem ser complementares um ao outro. Desta maneira, o método estático permite a análise em momentos específicos, à medida que o método dinâmico permite a avaliação ao longo de um período maior de tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da luz natural em diferentes configurações espaciais de ambientes de cozinha e área de serviço de residências multifamiliares por meio de simulação computacional para a cidade de Porto Alegre – RS, com base no indicado pela NBR 15575 e pelo método *Useful Daylight Illuminance* (UDI). Sete modelos mais representativos foram utilizados como objetos de estudo; dentre eles, três com iluminação de maneira direta nos dois recintos e quatro modelos com iluminação da cozinha de maneira indireta por abertura na área de serviço e no ambiente de sala.

Os objetos de estudo foram analisados através de simulação computacional, com base nos critérios estabelecidos para cada etapa. A fim de ajustar os *softwares* de simulação computacional, relacionou-se informações necessárias para a modelagem dos objetos de estudo, dentre os quais destacam-se o tipo de céu, intermediário na primeira etapa e dinâmico na segunda, e a refletância das superfícies internas dos modelos. Com o propósito de qualificar os resultados finais, foi realizada análise espectralradiométrica em amostras de revestimentos para definição das refletâncias utilizadas. Foram obtidos dez resultados de refletância para as diferentes superfícies internas, dos quais seis resultados foram definidos para uso nas simulações.

Em relação ao valor global de refletância para as amostras de revestimentos analisadas, pode-se inferir que os resultados obtidos foram coerentes quando comparados a indicações de autores da área. Dentre as cores analisadas, o branco, indiferentemente do tipo de material, foi o que mais refletiu a luz na radiação visível. Percebeu-se, também, que os diferentes acabamentos influenciaram nos resultados de refletância obtidos em materiais de mesma cor. A correta utilização de valores em simulações computacionais se faz relevante, uma vez que a refletância de superfícies é considerada um dos fatores que influenciam o desempenho lumínico de ambientes internos. Destaca-se que há situações em que não é possível a obtenção dessa informação nem em catálogos técnicos, nem por meio de fornecedores, condição que pode tornar as análises menos precisas.

Quanto aos resultados obtidos na primeira etapa de simulação computacional, com base na NBR 15575, apenas um ambiente foi classificado como desempenho lumínico intermediário, à medida que os demais recintos foram classificados como

desempenho superior. Os resultados permitiram a identificação de dias, horários e orientações solares específicos em que os ambientes requerem maior atenção quanto ao desempenho lumínico. Além disso, observou-se a facilidade de classificação como desempenho lumínico superior, uma vez que o menor valor identificado foi de 119 lx na cozinha do modelo que possuía brise de proteção solar. Nesse ambiente, que havia sido classificado como desempenho intermediário, evidenciou-se a influência da refletância das superfícies internas ao ser feita nova simulação computacional com maior valor de refletância para as superfícies de piso, sendo então, também classificado como desempenho lumínico superior. Essa situação demonstra que a escolha dos revestimentos pelo cliente pode influenciar nos resultados obtidos e, conseqüentemente, na classificação de desempenho da luz natural.

Quanto às simulações computacionais da segunda etapa, por meio do método UDI, os resultados apontaram que os modelos com iluminação de maneira direta apresentaram melhor desempenho que os iluminados indiretamente, em função dos ambientes permanecerem mais tempo no intervalo autônomo seguido pelo intervalo suplementar. Dentre os modelos com iluminação direta, a área de serviço do D3, que possuía laje técnica como elemento de reflexão, foi o ambiente que apresentou maior percentual no intervalo que considera a necessidade de utilização da luz artificial para realização de atividades de maneira mais adequada. No intervalo excedente, os valores obtidos nos quatro modelos foram pouco significativos.

Dentre os modelos com iluminação de maneira indireta, o I1 e o I2 apresentaram maiores percentuais no intervalo autônomo, seguido do suplementar. Os ambientes de área de serviço desses modelos apresentaram percentuais significativos dentro do intervalo excedente, que pode acarretar em ofuscamento e elevação da carga térmica. Os modelos I3 e o I4 apresentaram maiores percentuais dentro do intervalo *fell-short*, complementados pelos demais intervalos, com prevalência do intervalo suplementar nos ambientes de cozinha e pelo intervalo autônomo nas áreas de serviço.

Com base nas duas etapas de 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. Bem como o modelo que

apresentava brise de proteção solar, que visa reduzir a incidência direta de sol, mas que também tende a diminuir a quantidade de luz refletida para o interior dos ambientes e gerou uniformidade de iluminância nesses locais.

Em relação a proporção espacial dos ambientes, observou-se diferentes padrões para as etapas de análise. Os ambientes analisados com base na NBR 15575 apresentaram maiores valores de iluminância quando possuíam menor profundidade nos modelos com iluminação direta. Nas cozinhas, quando iluminadas de maneira indireta, a proporção dos ambientes pouco interferiu nos resultados obtidos. Com base no método UDI, os maiores níveis de intervalo autônomo ocorreram nos ambientes com formato quadrado ou próximo a isso.

Salienta-se que os modelos foram analisados de maneira isolada, sem consideração de entorno edificado, a fim de analisar apenas as variáveis internas e os elementos externos inseridos na própria edificação. Assim, se obstruções fossem consideradas, os resultados seriam diferentes em função dos componentes de reflexão externa envolvidos. Enfatiza-se que os procedimentos utilizados geram resultados distintos, mas que se complementam e que podem ser utilizados com diferentes finalidades na avaliação da luz natural em ambientes internos.

Este trabalho tem potencial para contribuir com profissionais arquitetos, pois os resultados obtidos apresentaram indicativos em relação à disposição de ambientes de cozinha e de área de serviço de maneira mais adequada ao desempenho lumínico. Além disso, apresentou indícios da influência dos diferentes elementos externos inerentes a edificação, e apontou momentos e orientações solares em que o projeto arquitetônico requer maior atenção. Ademais, cabe ao profissional alertar seus clientes sobre a influência de acabamentos de superfícies internas, uma vez que, além de questões estéticas, podem contribuir com o desempenho lumínico dos ambientes. 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 redução de custos com energia elétrica, além de benefícios com sua saúde visual.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. S. C. De; AMORIM, C. N. D. **Iluminação natural**: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 37–57, 2012.
- ALVARENGA, Brummer Seda et al. O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). **Anais...** Belo Horizonte: 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215**: Iluminação Natural. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995**: Iluminação De Ambientes De Trabalho. Rio de Janeiro, 2013b.
- BROWN, G. Z.; DEKAY, Mark. **Sol, vento e luz**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- CHOI, Y.; LEE, H.; KIM, Y. A preliminary study on performance evaluation of external-type light shelf according to Vent Ratio. **Advanced Science and Technology Letters**, Canadá, v. 55, p. 29–32, 2014.
- COSTA, Gilberto José Corrêa Da. **Iluminação Econômica**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2000.
- DIDONÉ, Evelise Leite; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 139–154, 2010.
- DURÁN, Gloria Yamileth Bolívar; PRADO, Diego De Almeida; PEREIRA FILHO, Waterloo. Caracterização da refletância espectral de materiais urbanos com uso de espectrorradiômetro. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). **Anais...** Foz do Iguaço: 2013.
- EDWARDS, Brian. **O guia básico para a sustentabilidade**. Barcelona: GG, 2008.
- EGAN, M. David; OLGAY, Victor. **Architectural lighting**. 2. ed. New York: McGraw Hill, 2002.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2016 - ano base 2015**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico->

168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202016.pdf. Acesso em: 20 dez. 2017.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017 - 2026)**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2017. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF[1].pdf). Acesso em: 20 dez. 2017.

FELIPPE, Alexandre Reis. **Desempenho luminoso e energético de vidros de controle solar e dispositivos de sombreamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2016.

FIGUEIREDO, Erika Ciconelli De; PISANI, Maria Augusta Justi. Prateleira de luz e brise: avaliação de desempenho para a cidade de São Paulo. In VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. **Anais...** Vitória, 2011.

FREIRE, Márcia Rebouças. **A luz natural no ambiente construído**. Salvador: FAUFBA/ DeptoE IV LACAM, 1997.

GAWAIN, Shakti; KING, Laurel. **Living in the light: a guide to personal and planetary transformation**. Novato: New World Library, 1998. Disponível em: http://www.eso-garden.com/specials/living_in_the_light.pdf. Acesso em: 22 jan. 2018.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação natural**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

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

KURTAY, Cüneyt; ESEN, Okay. Evaluation of light shelf performance detected in overcast sky, on different latitudes, in clear sky, in natural lighting. **Gazi University Journal of Science**, Ankara, v. 28, n. 3, p. 445–455, 2015.

KURTAY, Cüneyt; ESEN, Okay. The efficiency of light shelves according to latitudes in office buildings. **Gazi University Journal of Science**, Ankara, v. 29, n. 4, p. 711–721, 2016.

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Downloads**. Arquivos climáticos. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em: 20 set. 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LARANJA, Andréa Coelho; ALVAREZ, Cristina Engel De; MATARANGAS, Kamila. Análise da influência da orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno na extensão de sua profundidade. **Revista Labor & Engenho**, Campinas v. 7, n. 1, p. 84–98, 2013.

LARANJA, André Coelho; CABÚS, Ricardo Carvalho; GAZZANEO, Luiz Manoel Cavalcanti. Interferência da orientação das vias na disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno. In XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.

LECHNER, Norbert. **Heating, cooling, lighting**. 3. ed. New Jersey: Wiley & Sons, 2009.

LEDER, Solange Maria. **Ocupação urbana e luz natural**: proposta de parâmetro de controle da obstrução do céu para garantia de disponibilidade à luz natural. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2007.

LIM, Yaik Wah *et al.* Building façade design for daylighting quality in typical government office building. **Building and Environment**, Amsterdam, v. 57, p. 194–204, 2012.

LIMA, Mariana Regina Coimbra De. **Percepção visual aplicada a arquitetura a iluminação**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010.

MAIOLI, Ricardo Nacari; ALVAREZ, Cristina Engel De. Análise da utilização de prateleiras de luz em Vitória-ES (Brasil). **Hábitat Sustentable**, Concepción, v. 3, p. 37–46, 2013.

MARDALJEVIC, J. *et al.* Daylighting metrics for residential buildings. In National Conference 2006: Engineering the Future. **Anais...** London: 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.

MORAES, Letícia Niero; CLARO, Anderson. Estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial considerando luz natural e consumo de energia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 59–74, 2013.

NASCIMENTO, Thássia; BATISTA, Juliana. Avaliação da abordagem normativa da NBR 15575 para desempenho lumínico: estudo de caso em Maceió-AL. In XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). **Anais...** São Paulo: 2016.

NETTO, A. R. A.; BARRETO, D.; AKUTSU, M. Simulação de melhoria no desempenho lumínico de edifício por meio do uso de prateleiras de luz. In 9º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção (SIBRAGEC) e 6º Encontro Latino Americano de Gestão e Economia da Construção (ELAGEC). **Anais...** São Carlos: 2015.

OLIVEIRA, Vivian Moreno; HIPPERT, Maria Aparecida Steinherz. Desempenho de empreendimentos habitacionais: uma análise comparativa dos critérios contidos na

NBR 15575 e no referencial AQUA. In XV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). **Anais...** Maceió: 2014.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Sobre o SIN – O sistema em números**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 13 set. 2017.

OSRAM. **Curso de iluminação**: conceitos e projetos. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/davidaloi/apostila-osram-iluminacao-e-conceitos>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

PARISE, Giuseppe; MARTIRANO, Luigi. Combined electric light and daylight systems ecodesign. **IEEE Transactions on Industry Applications**, Canadá, v. 49, n. 3, p. 1062–1070, 2013.

PEREIRA, Fernando O. Ruttkay. **Conforto ambiental**: iluminação. Material de aula. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/JosArimatheaPereiraJ/24-1-36358258>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

PHILLIPS, Derek. **Lighting modern buildings**. 1. ed. Woburn: Architectural Press, 2000.

PLUMMER, Henry. **La arquitectura de la luz natural**. 1. ed. Barcelona: BLUME (Naturart), 2009.

POLI, Claudia Maria Basso; ZORZI, Lizia de Moraes De. Desempenho lumínico segundo NBR 15575:2008, NBR 15575-1:2013, Danish Building Regulations 2010 e European Standard prEN 15251. **Diálogos & Saberes**, Salvador, v. 10, n. 1, p. 95–113, 2014.

PORTO ALEGRE. Lei Complementar nº 284, de 27 de outubro de 1992. **Institui o Código de Edificações de Porto Alegre**. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Edificações**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04%7D>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

REFAX. **Brise colmeia**. Disponível em: <<http://www.refax.com.br/brise-metalico-colmeia.html>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

ROCHA, Ana Paula de Almeida; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. A influência da determinação das zonas de iluminação natural no consumo de energia em iluminação artificial. In XIV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). **Anais...** Juiz de Fora: 2012.

ROMÉRO, M. de A.; REIS, L. B. Dos. **Eficiência energética em edifícios**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2012.

SACHT, Helenice M. *et al.* Estudo do desempenho lumínico para um sistema de fachada modular destinado à Portugal. In XIV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). **Anais...** Juiz de Fora: 2012.

SANTOS, António José. **A Iluminação nos Edifícios: Uma perspectiva no âmbito do conforto ambiental e da eficiência energética**. 1. ed. Lisboa: LNEC, 2014.

SARDEIRO, Paula; ROTTA NETO, Arquimedes. Avaliação do desempenho luminoso em salas de aula: estudo de caso. In XIV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). **Anais...** Juiz de Fora: 2012.

SCALCO, Veridiana Atanasio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Método para a avaliação do impacto de edificações no acesso à iluminação natural em vizinhanças urbanas aplicado em cenários virtuais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 169–187, 2015.

SCHELLER, 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/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Relatorio_AnaliseArquivosClimaticos_Labeee.pdf. Acesso em: 20 dez. 2017.

SILVA, Fernando Cruz *et al.* Otimização de sistemas de iluminação natural para salas de aula: uma análise gráfica. In Encontro Nacional Sobre Conforto No Ambiente Construído - Conferência Latino-Americana Sobre Conforto E Desempenho Energético De Edificações. **Anais...** Curitiba: 2002.

SOUSA, Juliana Andrade Borges; AMORIM, Cláudia Naves David. Iluminação natural em edificações residenciais: determinação de parâmetros para dimensionamento de aberturas laterais no contexto do Distrito Federal. In III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (ENANPARQ). **Anais...** São Paulo: 2014.

SULMETAIS. **Brise colmeia**. Disponível em: <<http://www.sulmetais.com.br/produtos/brises-e-termobrisas/brise-colmeia-bsm-100cl-bsm-150cl-bsm-200cl>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

TREGENZA, Peter; LOE, David. **Projeto de iluminação**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

VENTORIM, F. C. *et al.* Análise do desempenho da iluminação natural de salas de aula de desenho em Vitória (ES). In XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). **Anais...** Maceió: 2014.

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

ANEXO A – PLANTAS-BAIXAS REFERENCIAIS

Planta-baixa referencial do modelo D1



Planta-baixa referencial do modelo D2



Planta-baixa referencial do modelo D3



Planta-baixa referencial do modelo I1



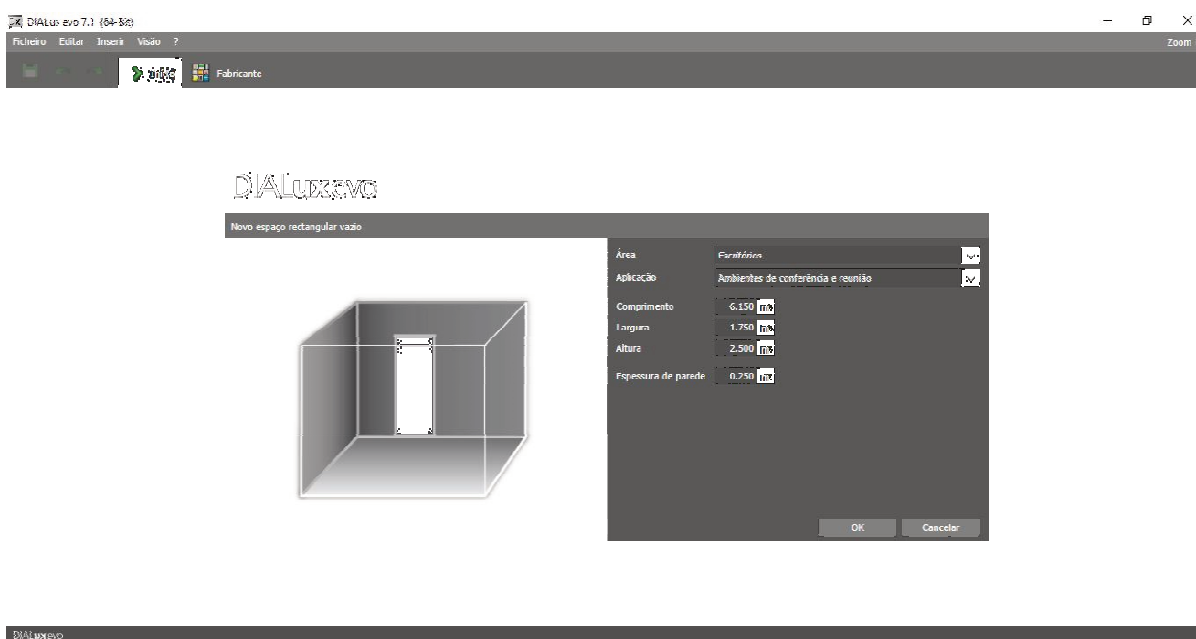
Plantas-baixas referenciais para os modelos I2, I3 e I4 (que, para efeito comparativo, apresentaram a mesma dimensão interna no trabalho)



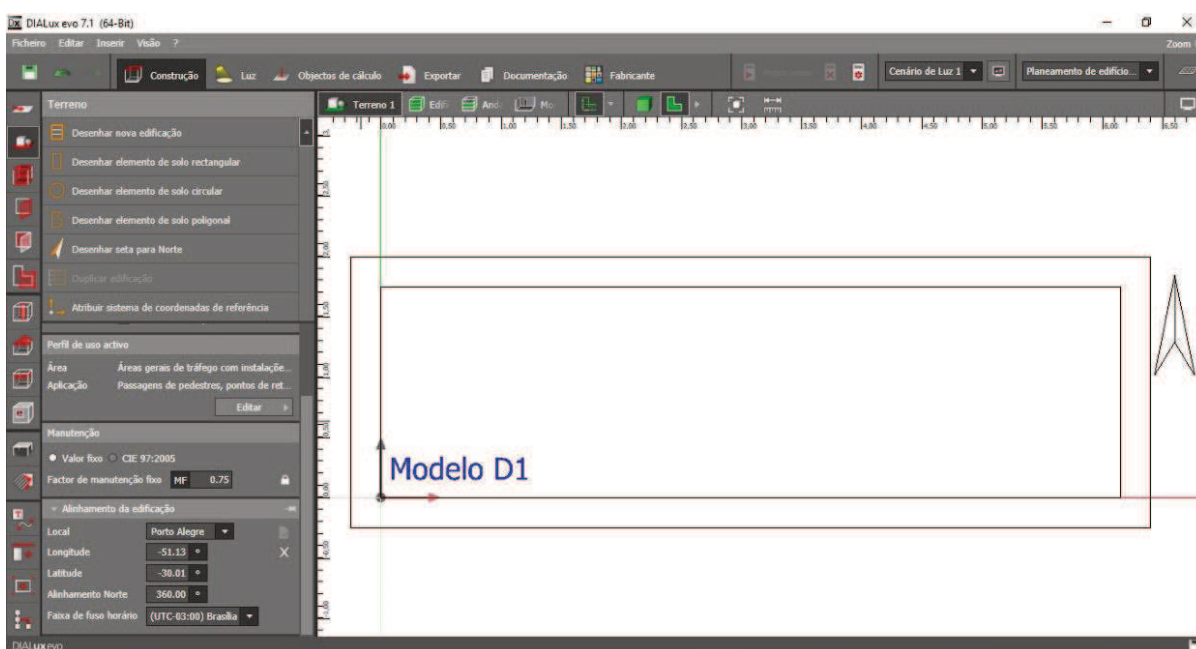
APÊNDICE A – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO SOFTWARE DIALUX

Abaixo, tem-se as etapas de modelagem, inserção dos dados de *input* e ajustes para início das simulações computacionais realizadas no *software* DIALux.

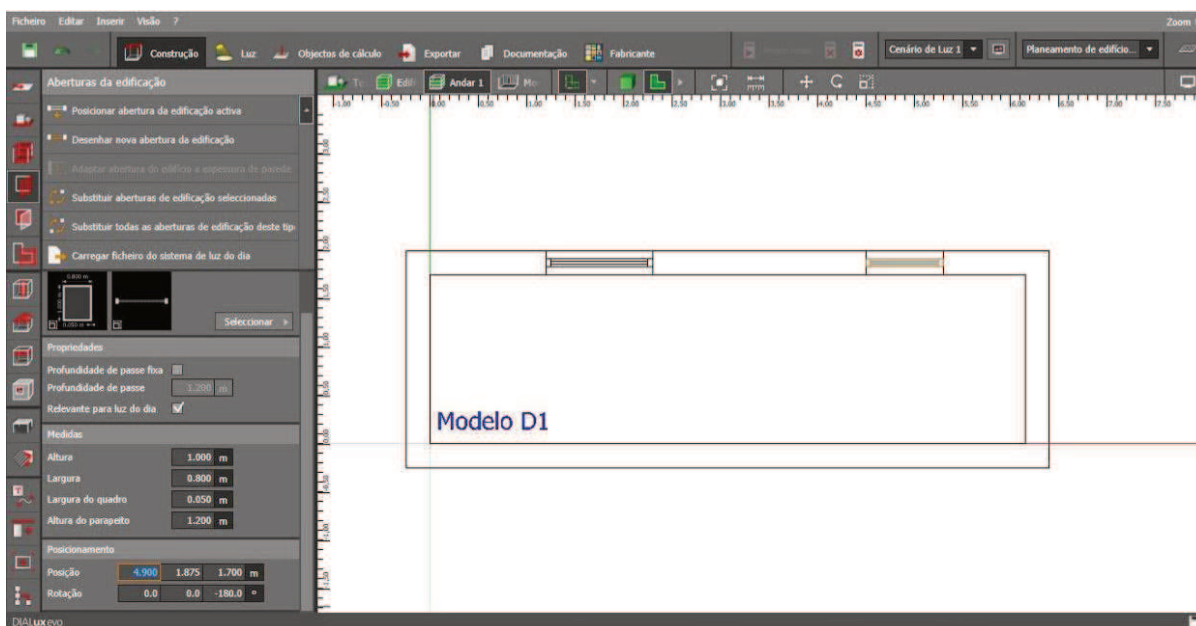
- Tela 1: os dados geométricos (comprimento, largura e altura do ambiente e espessura de paredes) foram inseridos na tela de início do DIALux:



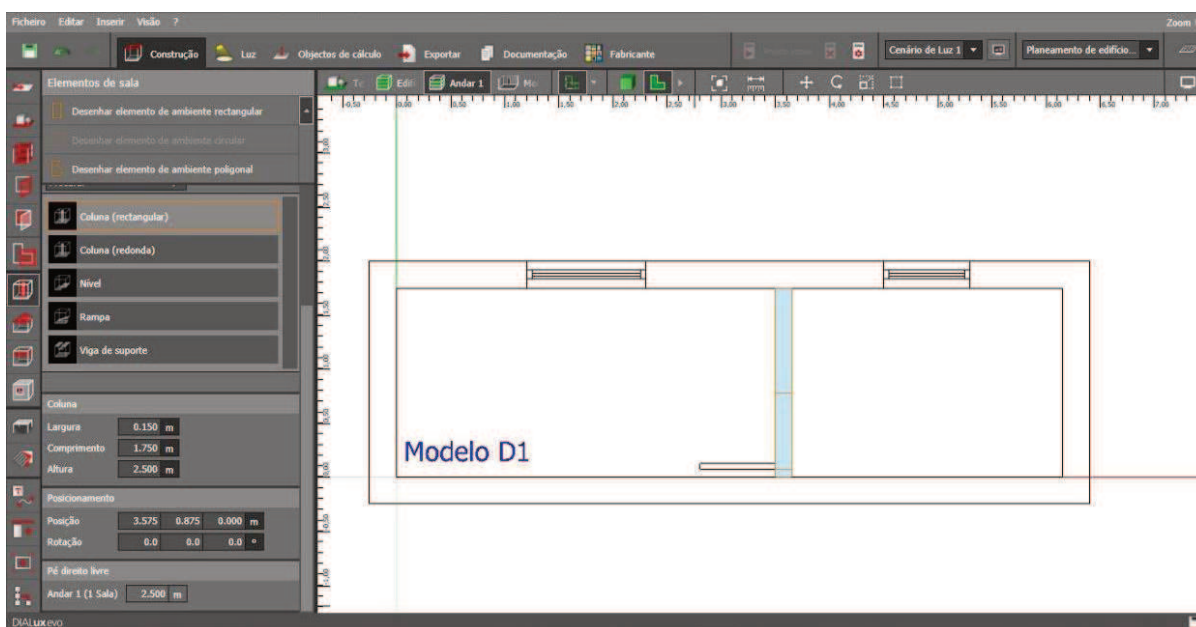
- Tela 2: o fator de manutenção e os dados de localização do modelo (cidade, longitude, latitude, alinhamento norte e fuso horário) foram informados:



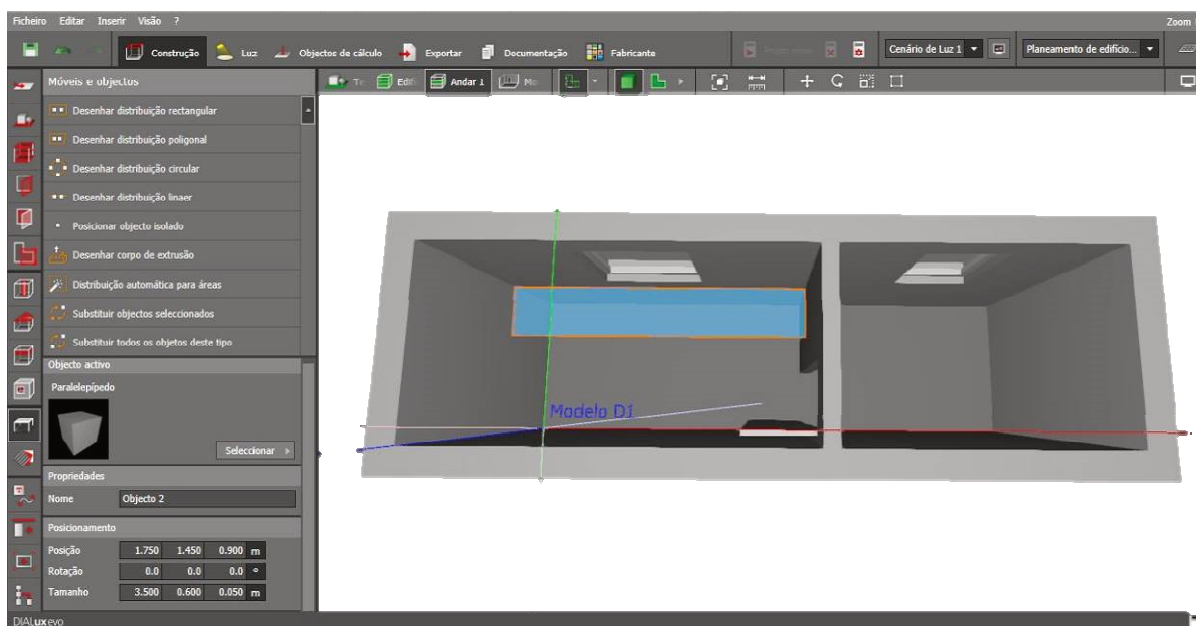
- Tela 3: as janelas foram inseridas e foi feito o ajuste das dimensões e do posicionamento no modelo:



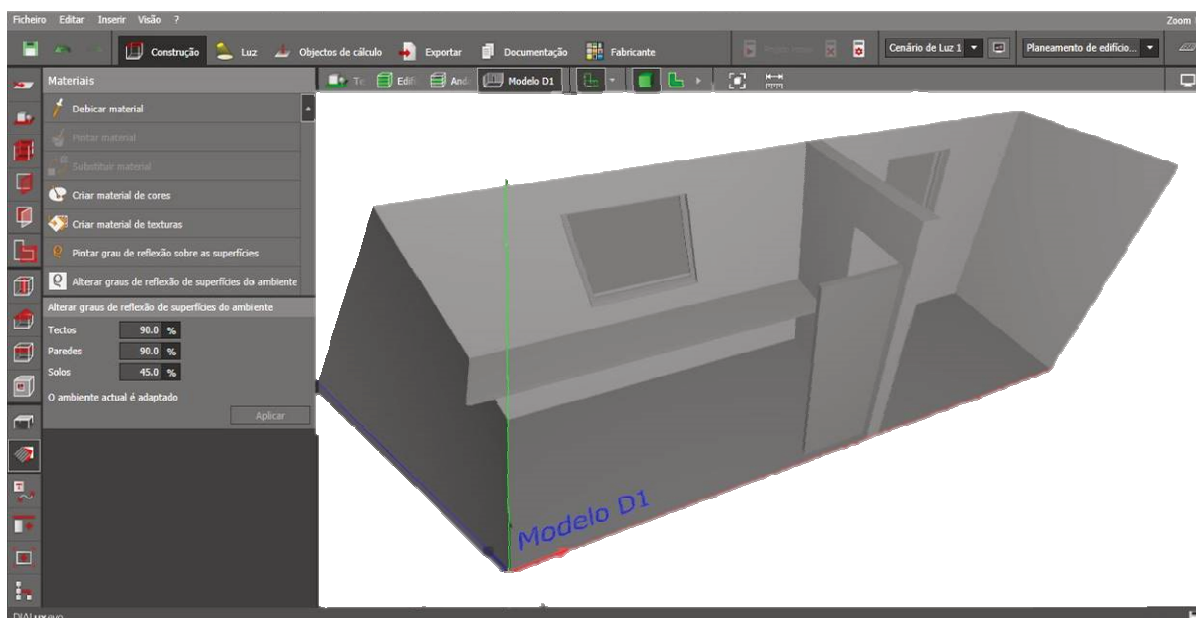
- Tela 4: a divisória interna e a porta de ligação dos ambientes foram posicionadas e configuradas no *software*:



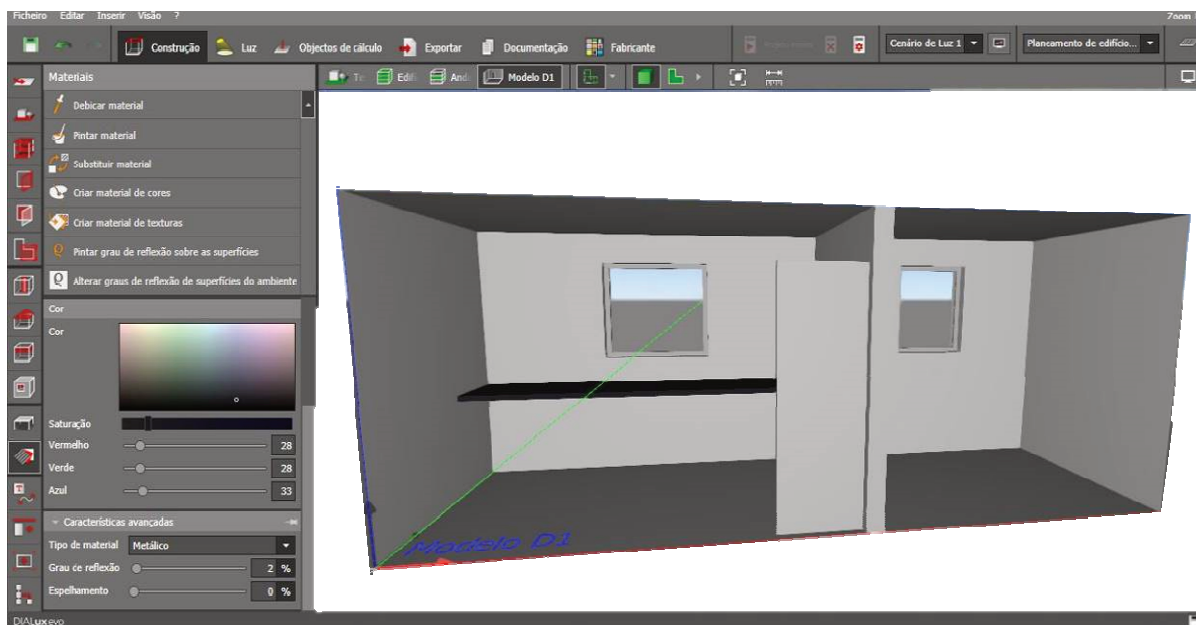
- Tela 5 (vista superior perspectivada): a superfície da bancada da pia foi adicionada e configurada no modelo:



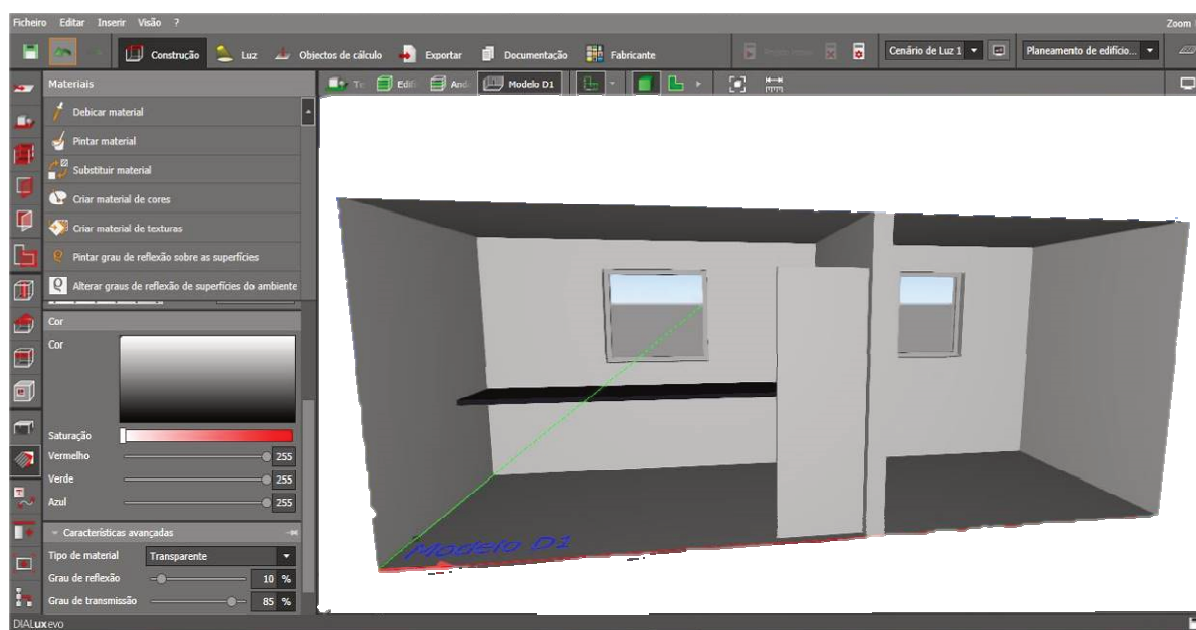
- Telas 6, 7 e 8 (vistas em cortes perspectivados): os valores de refletância das superfícies e de transmitância do vidro foram ajustados:
- Refletância dos tetos, paredes e pisos;



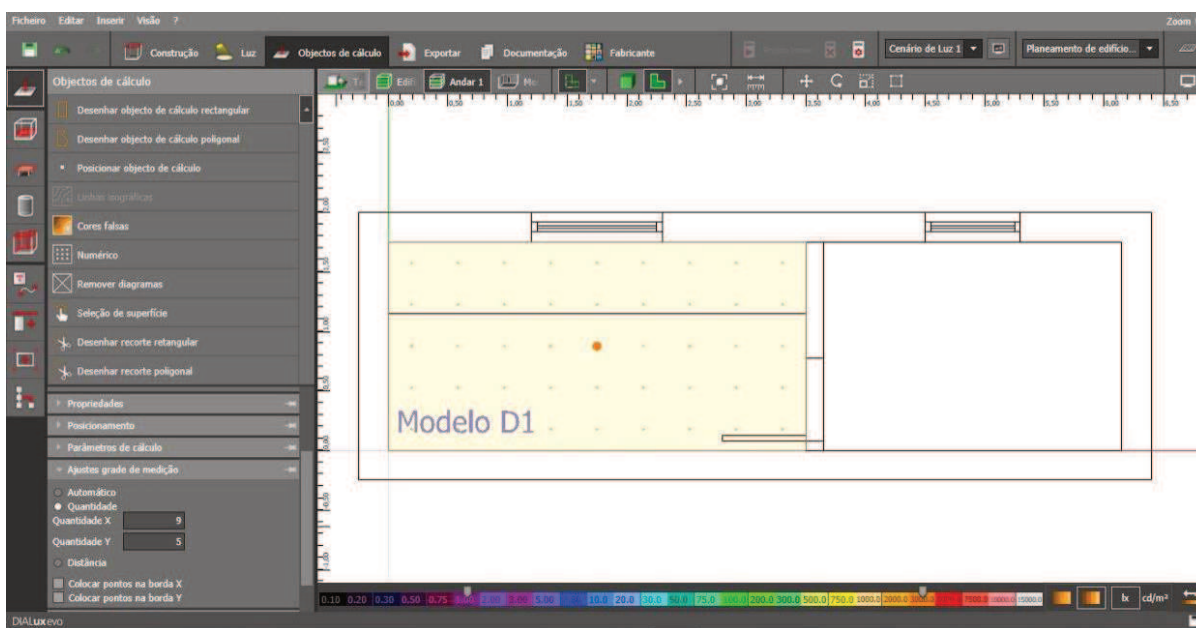
- Refletância da superfície de bancada da pia;



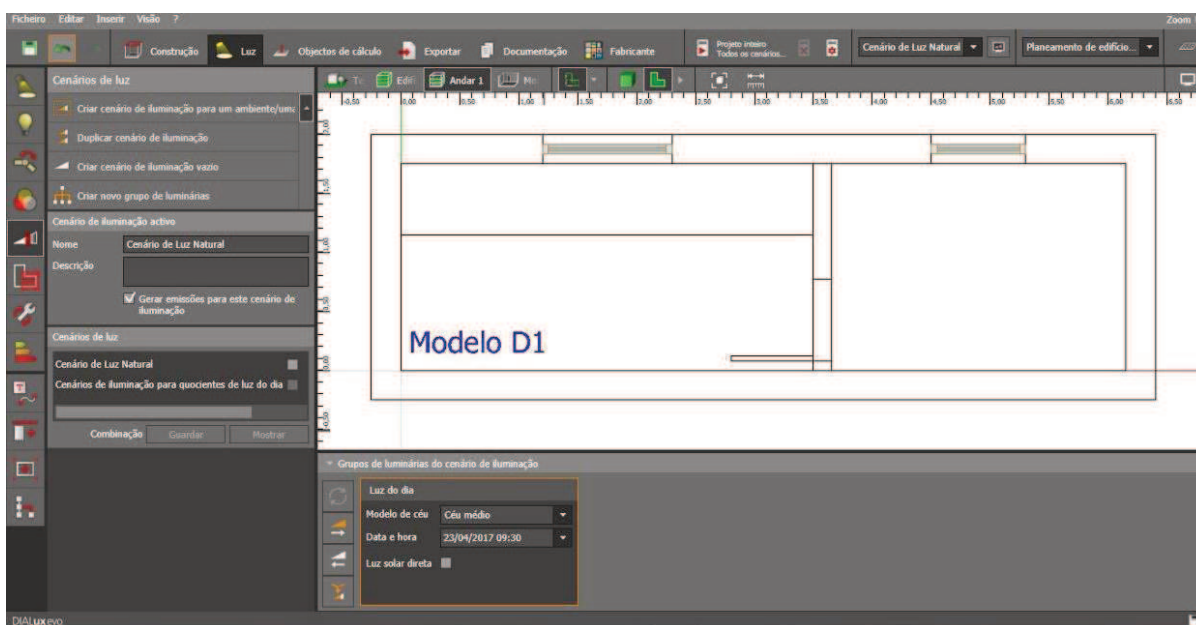
- Transmitância e refletância do vidro.



- Tela 09: os pontos para simulação computacional foram inseridos nos planos de trabalho:



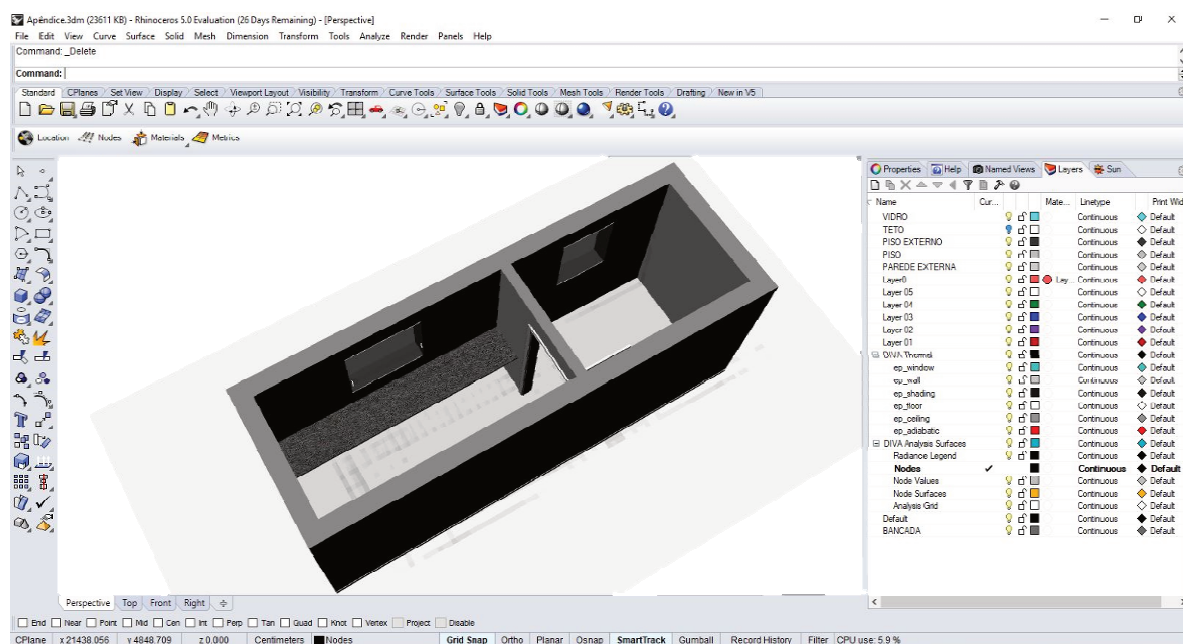
- Tela 10: o tipo de céu, o dia e horário das análises foram ajustados e as simulações computacionais tiveram início:



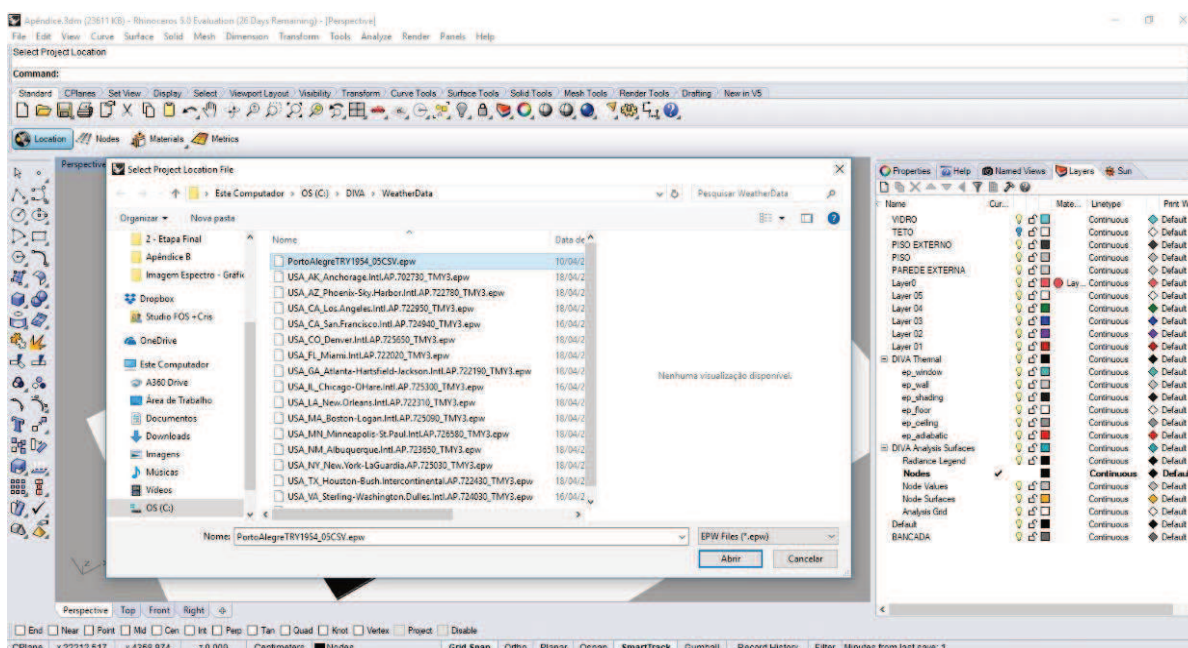
APÊNDICE B – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM O *PLUG-IN* DIVA

Abaixo, tem-se o processo de inserção dos dados de *input* para simulação computacional pelo *plug-in* Diva com o *software* Rhinoceros. A modelagem foi realizada por meio do *software* Sketchup Make, versão 16.0.19912.

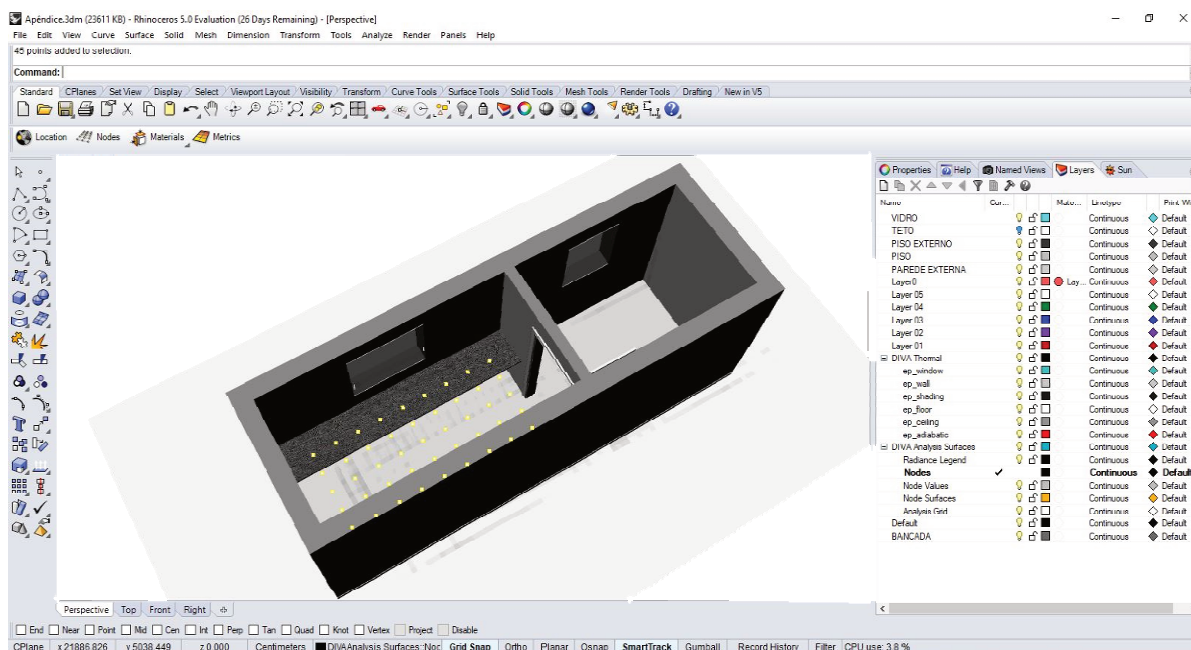
- Tela 1: o modelo foi importado no Rhinoceros e realizado o ajuste dos *layers*, conforme as diferentes superfícies de refletância:



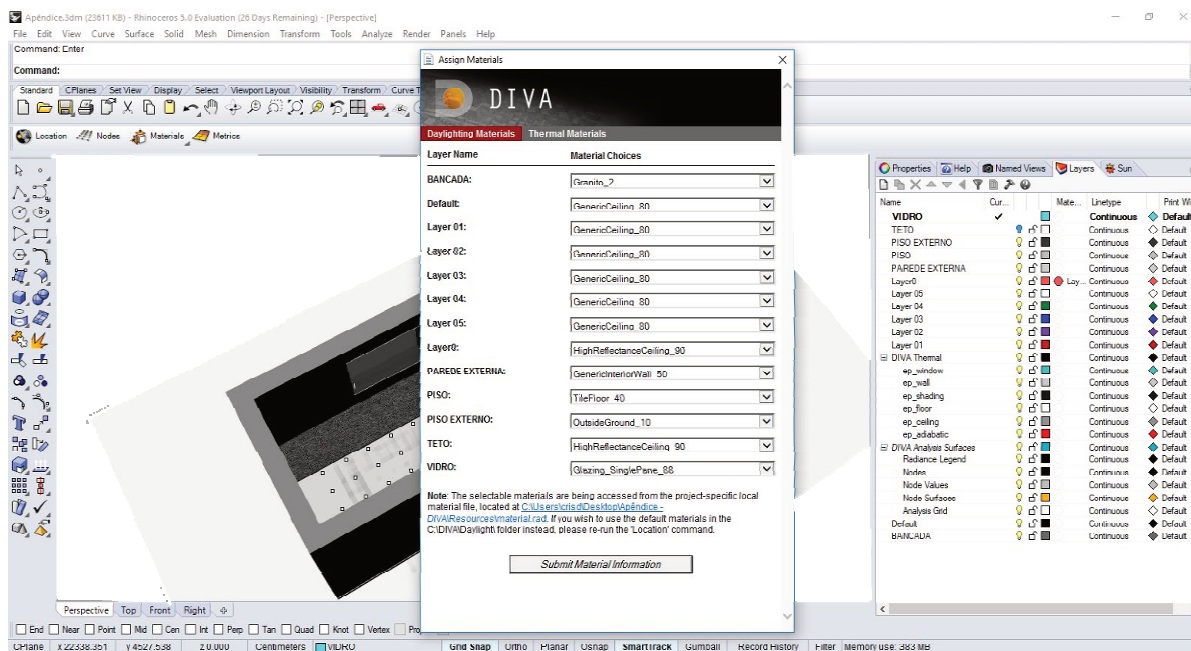
- Tela 2: Os dados de localização (cidade, longitude, latitude e fuso horário) foram inseridos por meio do arquivo climático TRY da cidade de Porto Alegre:



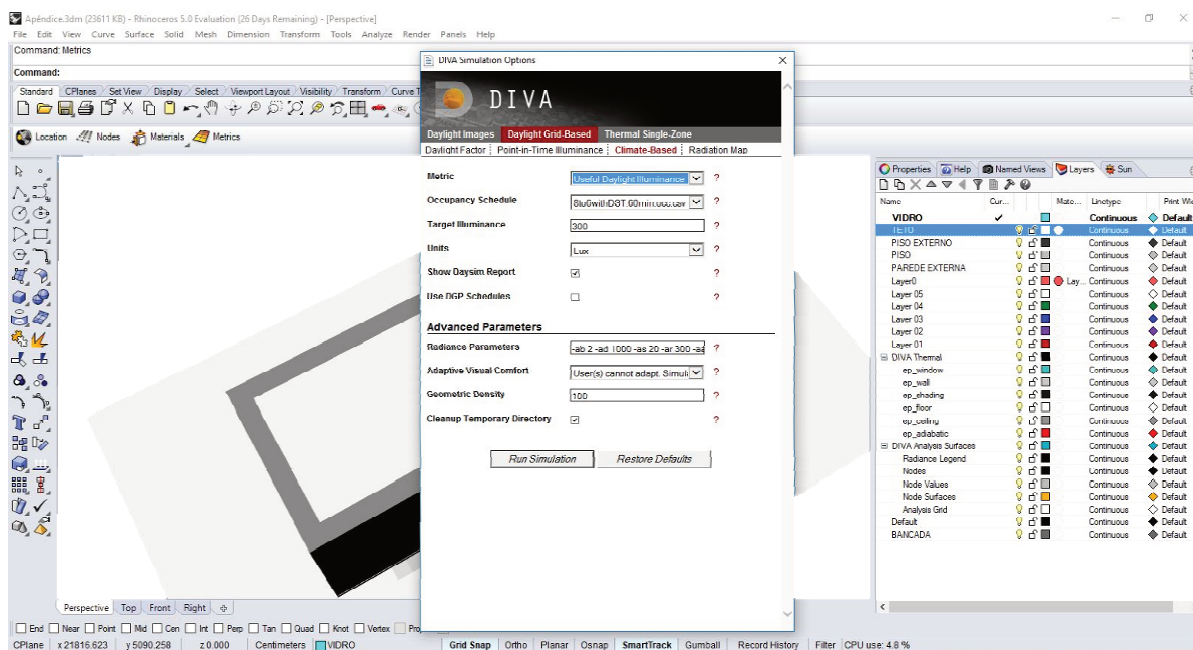
- Tela 3: Os pontos de medição foram inseridos no plano de trabalho de cada ambiente:



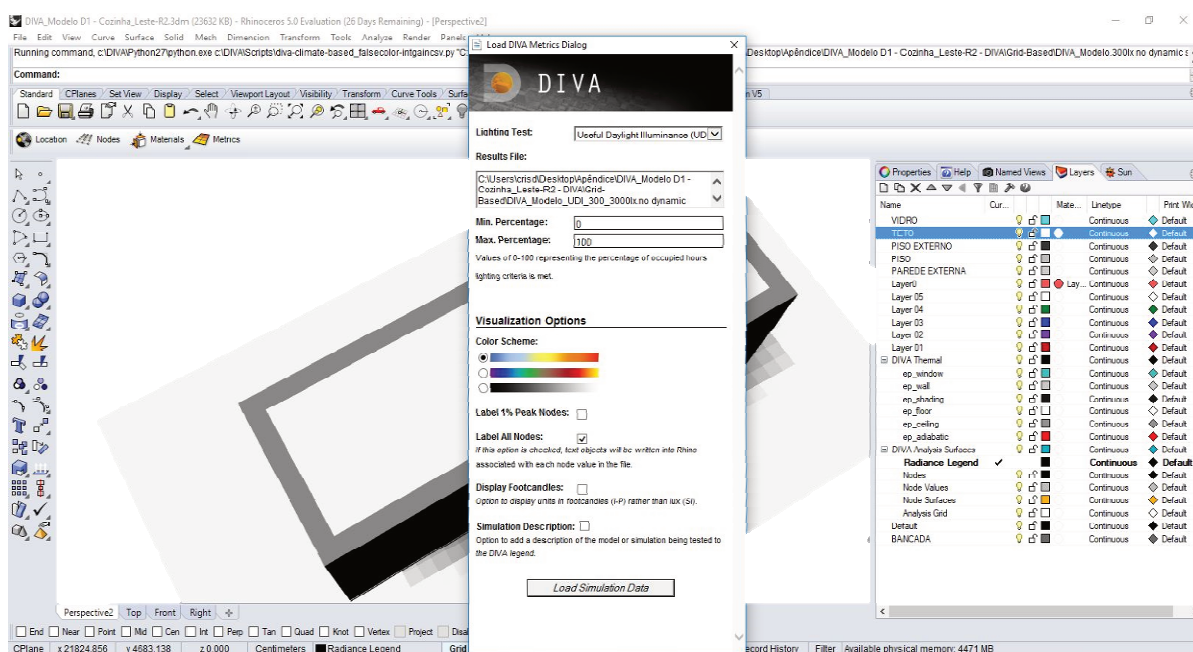
- Tela 4: Os valores de refletância das superfícies foram inseridos nos *layers* específicos, juntamente com o valor de transmitância dos vidros:



- Tela 5: A métrica de análise, *Useful Daylight Illuminances*, foi selecionada e iniciou-se a simulação computacional:



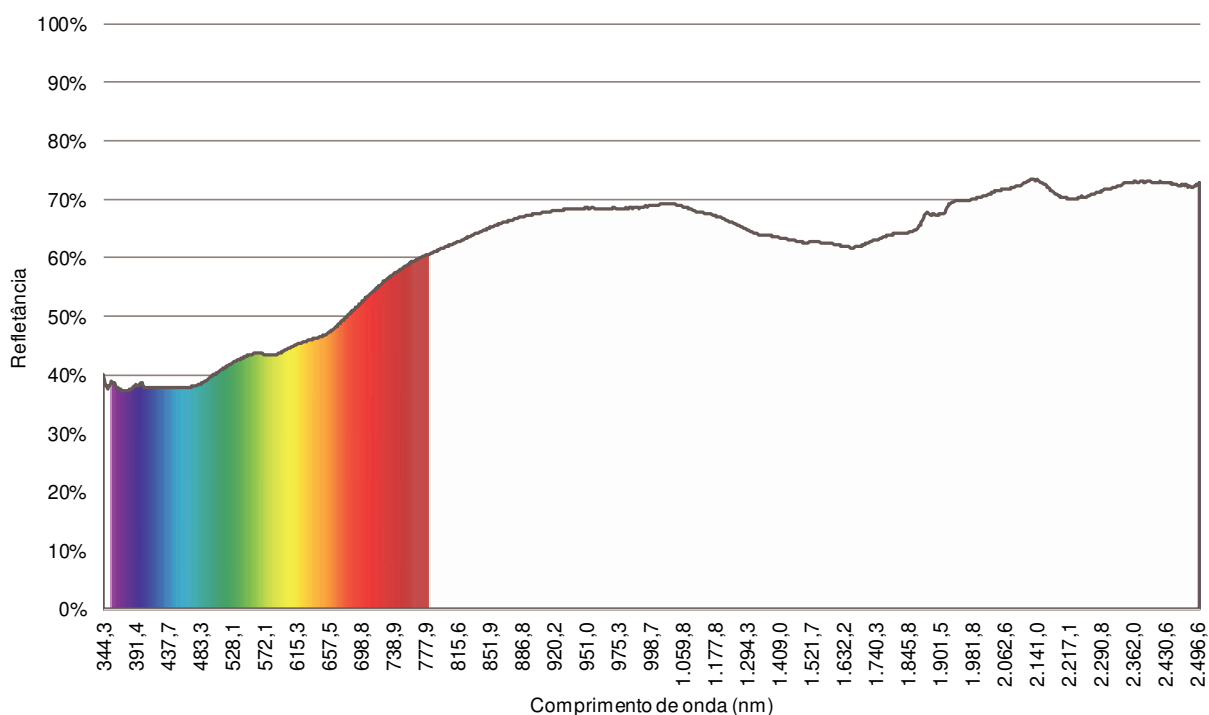
- Tela 6: Após o término da simulação computacional, ajustou-se os dados de *output* desejados, como apresentação dos resultados de acordo com o método UDI e propriedades dos rótulos:



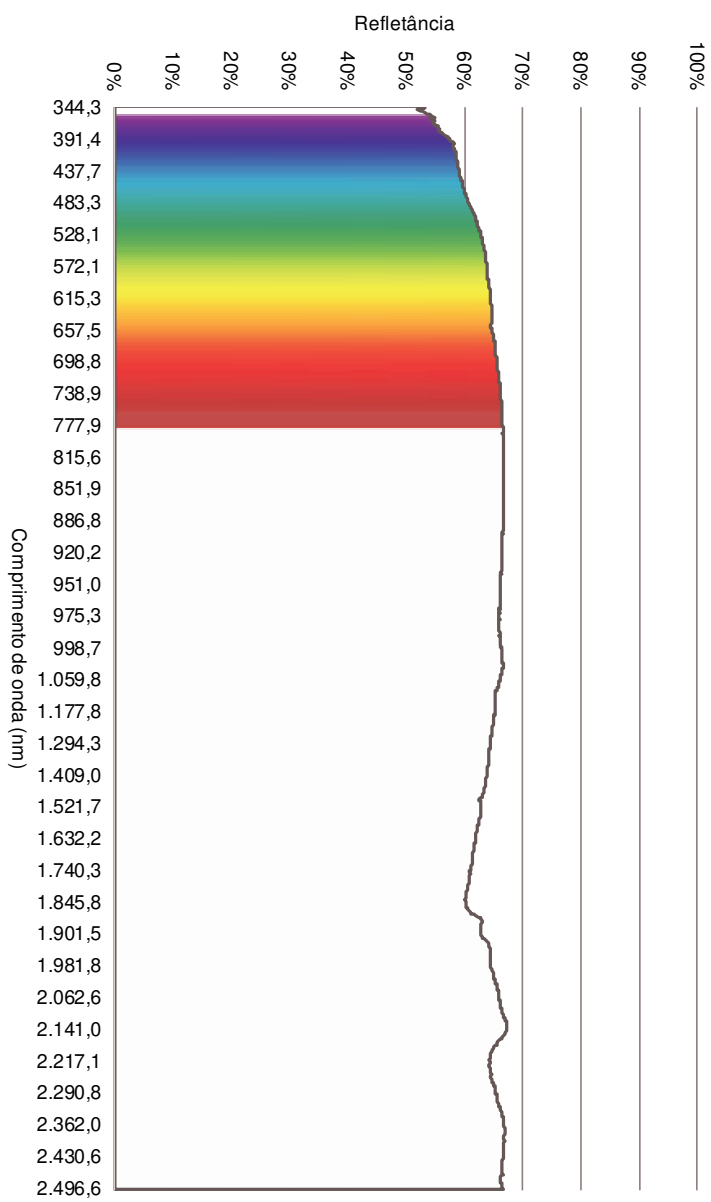
APÊNDICE C – REFLETÂNCIAS: CURVAS ESPECTRAIS E TABELA COMPLETA DE RESULTADOS

- Curvas espectrais para o total dos comprimentos de onda (250 a 2.500 nm), nas quais:
 - a) entre 250 e 380,5 nm: radiação ultravioleta;
 - b) entre 380,5 e 780,5 nm: radiação visível;
 - c) entre 780,5 e 2.500 nm: radiação infravermelha.

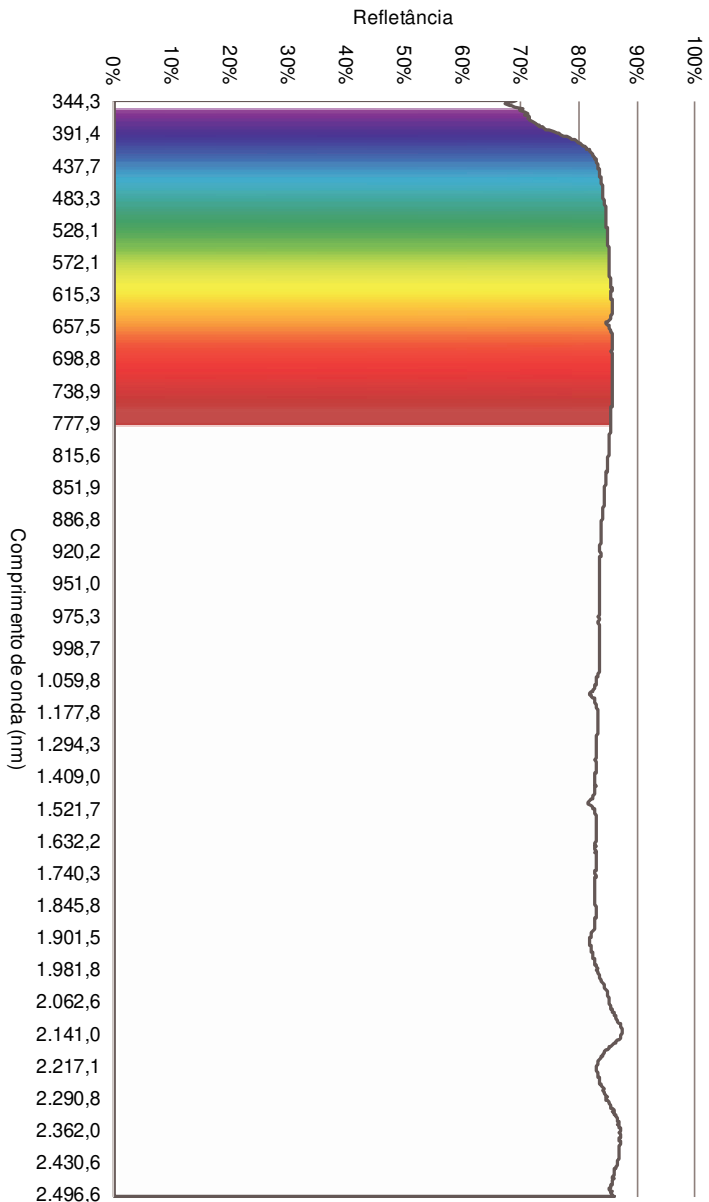
- Amostra 01: Porcelanato de piso, com acabamento acetinado na cor cinza:



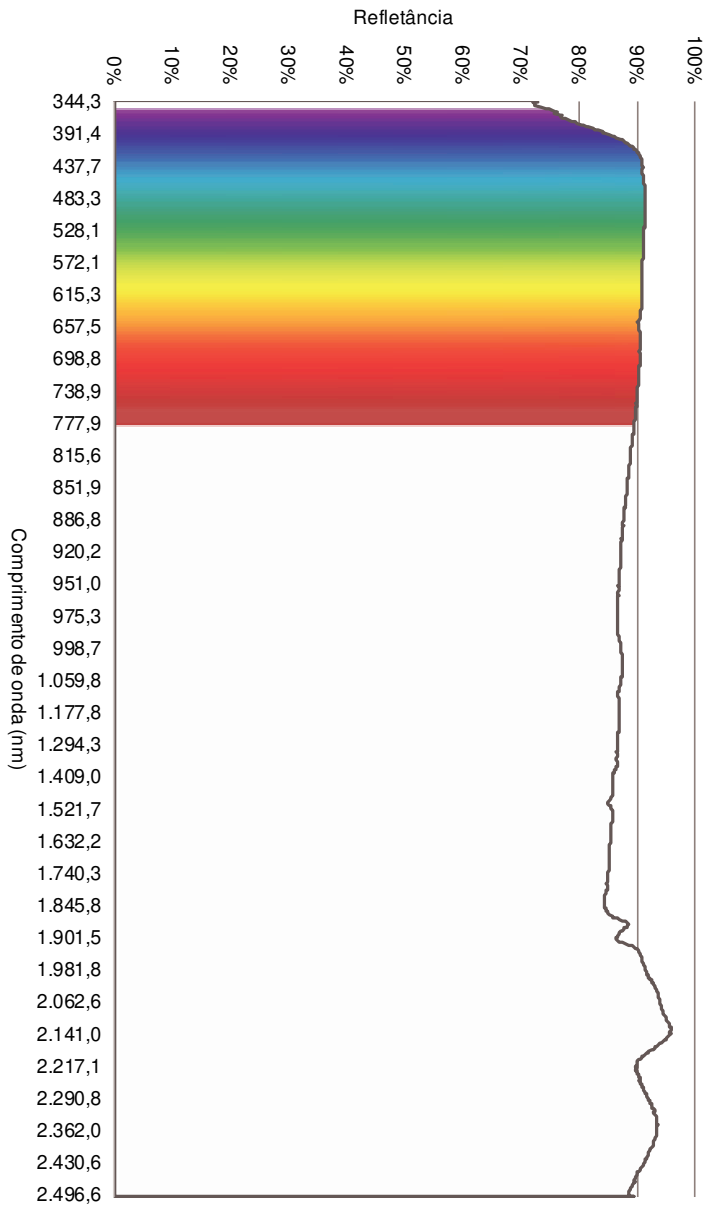
- Amostra 02: Porcelanato de piso, com acabamento acetinado na cor branca:



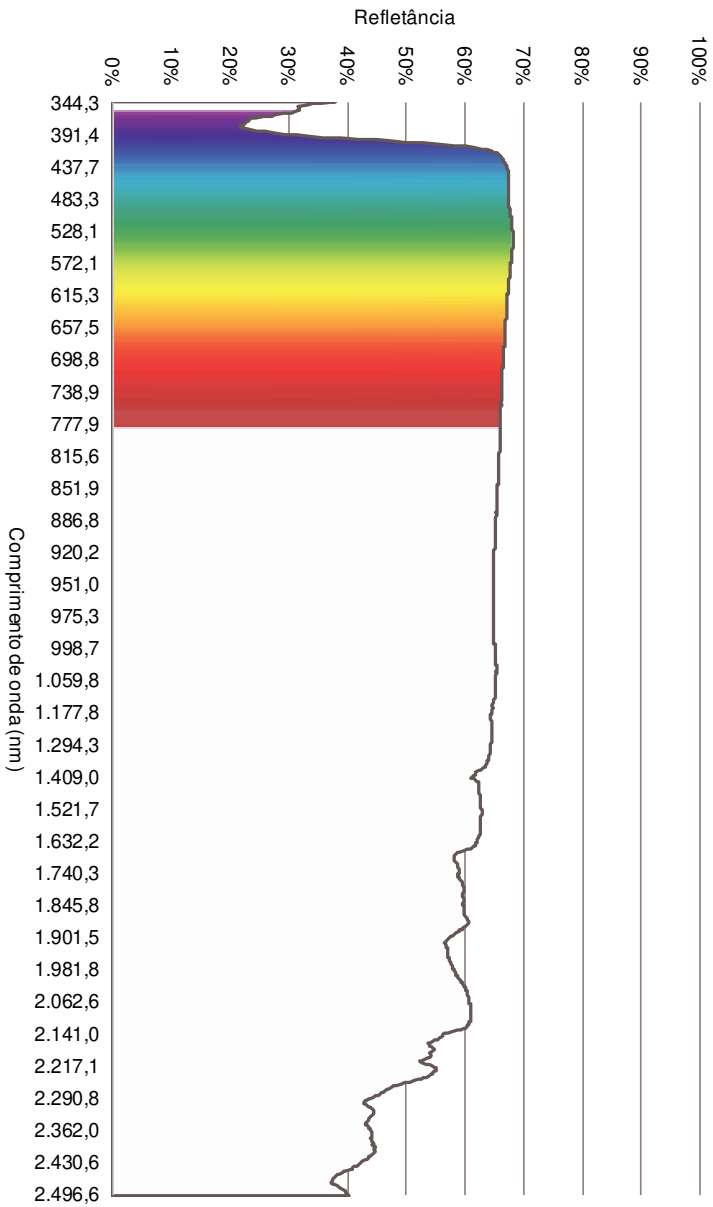
- Amostra 03: Porcelanato de parede, com acabamento acetinado na cor branca:



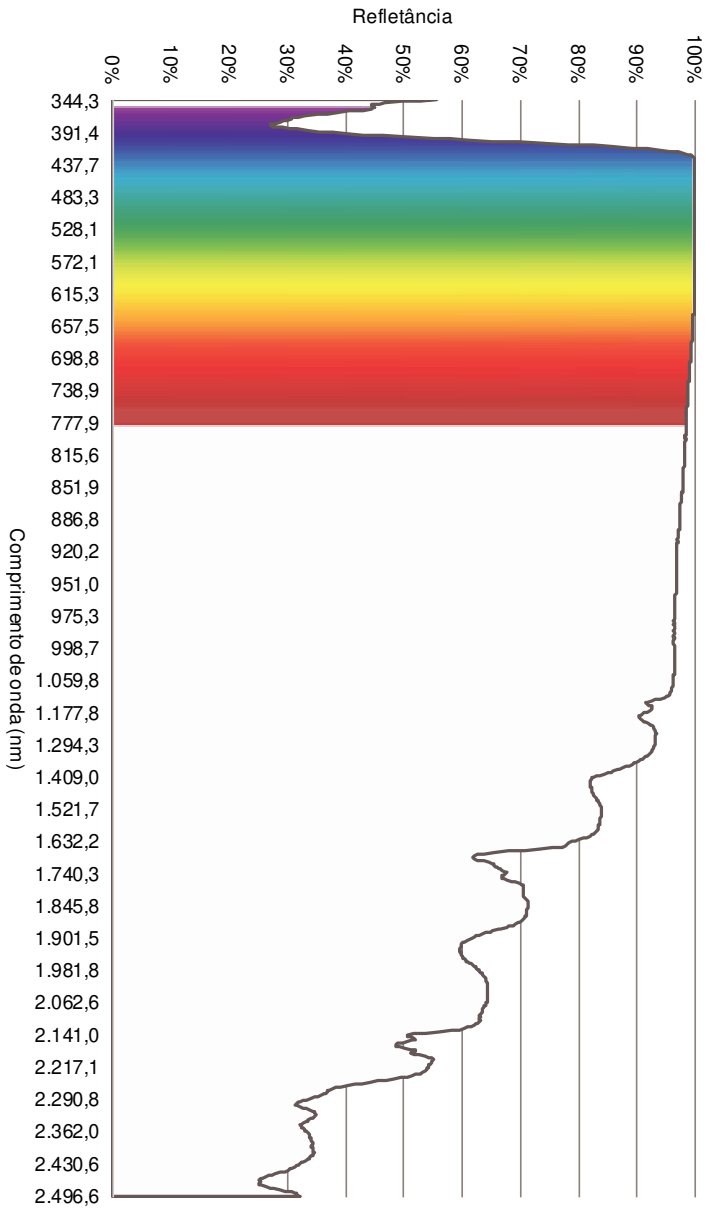
- Amostra 04: Porcelanato de parede, com acabamento polido na cor branca:



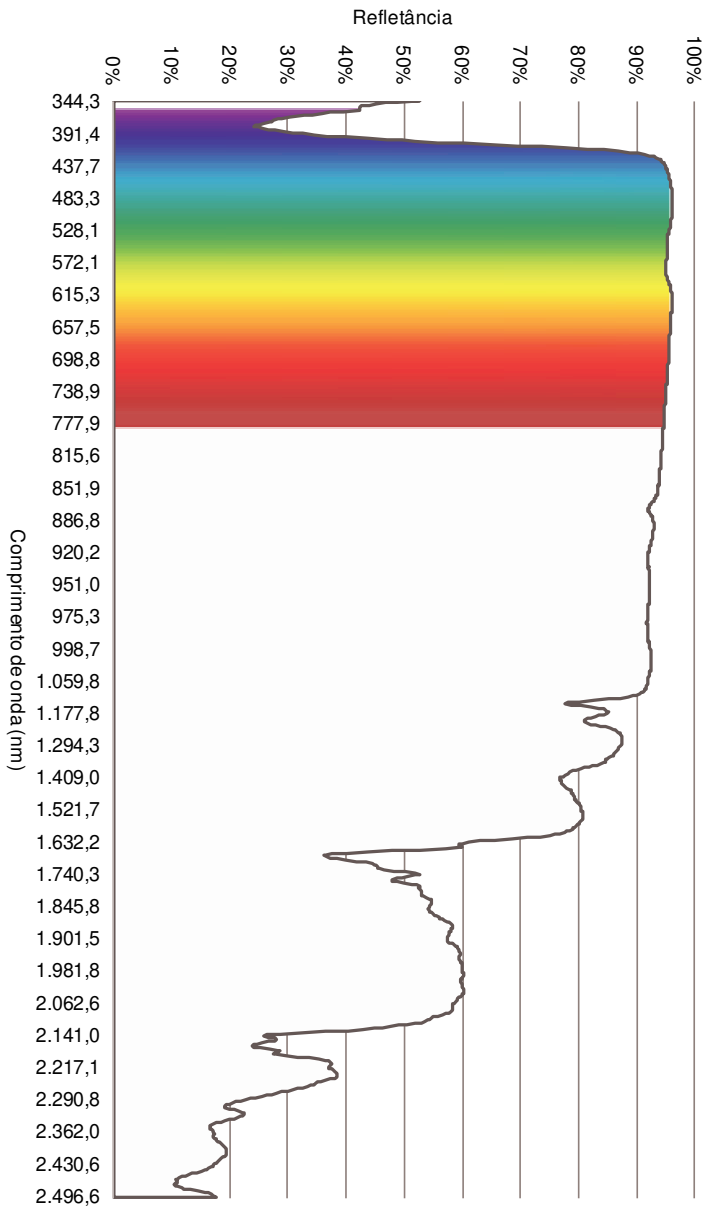
- Amostra 05: Revestimento de parede e teto em pintura em reboco, com acabamento semibrilho na cor gelo:



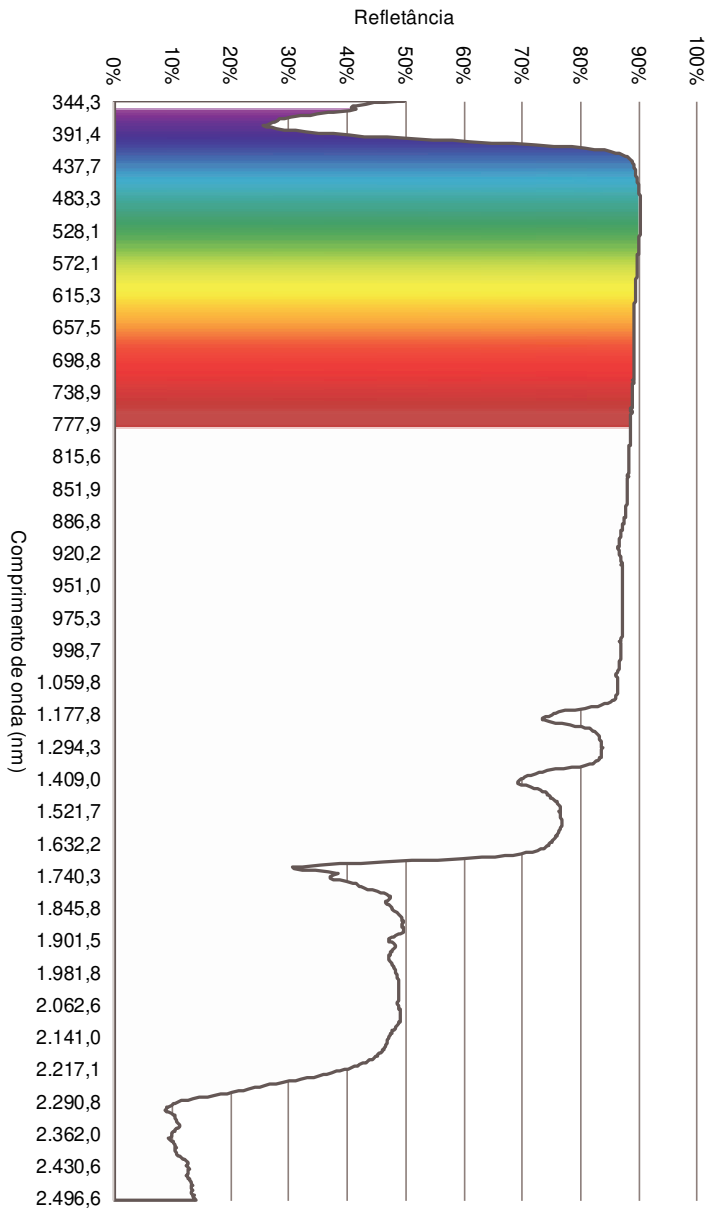
- Amostra 06: Revestimento de parede e teto em pintura em reboco, com acabamento acetinado na cor branca:



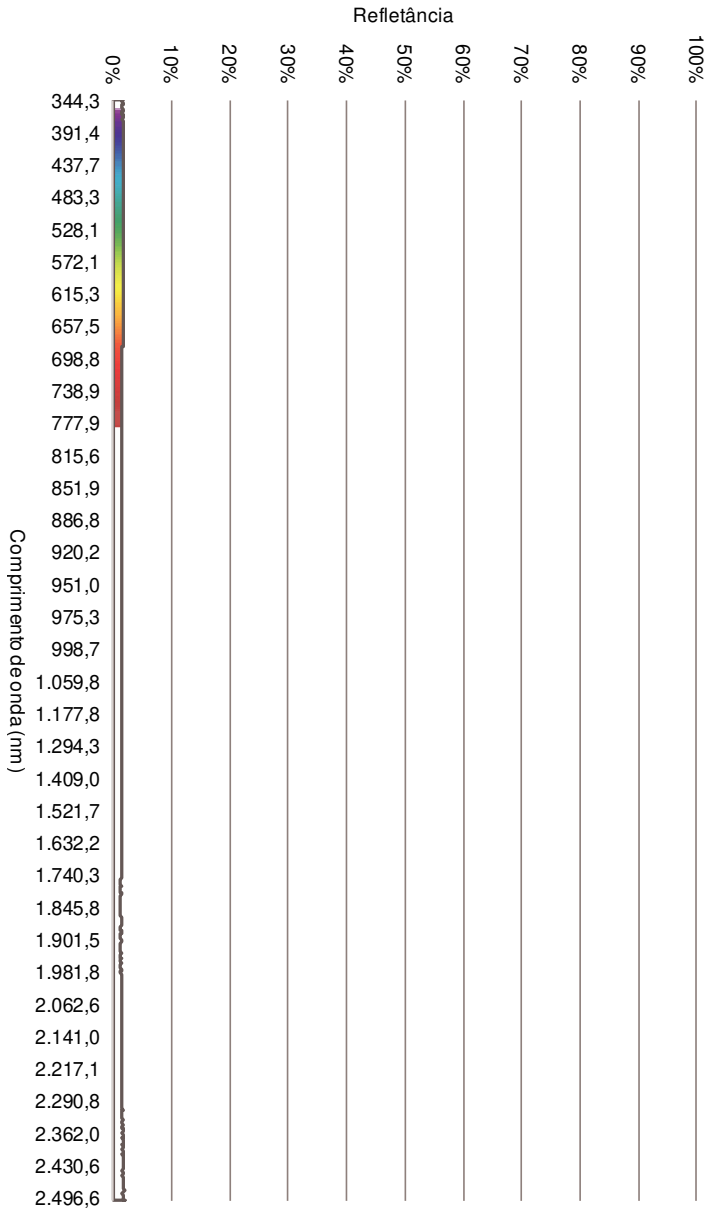
- Amostra 07: Porta em MDF, com pintura acetinada na cor branca:



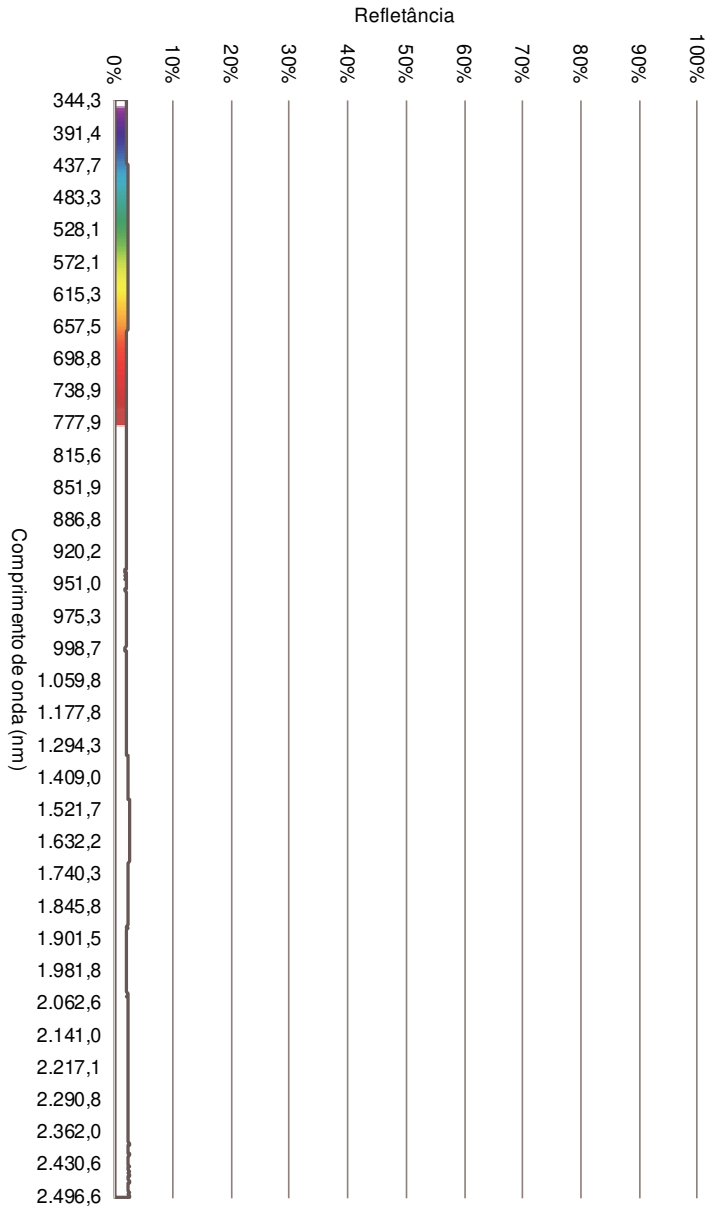
- Amostra 08: Perfil da janela em PVC, na cor branca:



- Amostra 09: Bancada da pia em granito polido, na cor preta:



- Amostra 10: Bancada da pia em granito polido, na cor verde escura:



- Tabela de refletâncias: os valores se referem aos diferentes espectros, conforme os comprimentos de onda a seguir:
 - a) entre 250 e 380,5 nm: radiação ultravioleta;
 - b) entre 380,5 e 780,5 nm: radiação visível;
 - c) entre 780,5 e 2.500 nm: radiação infravermelha;
 - d) entre 250 e 2.500 nm: radiação total.

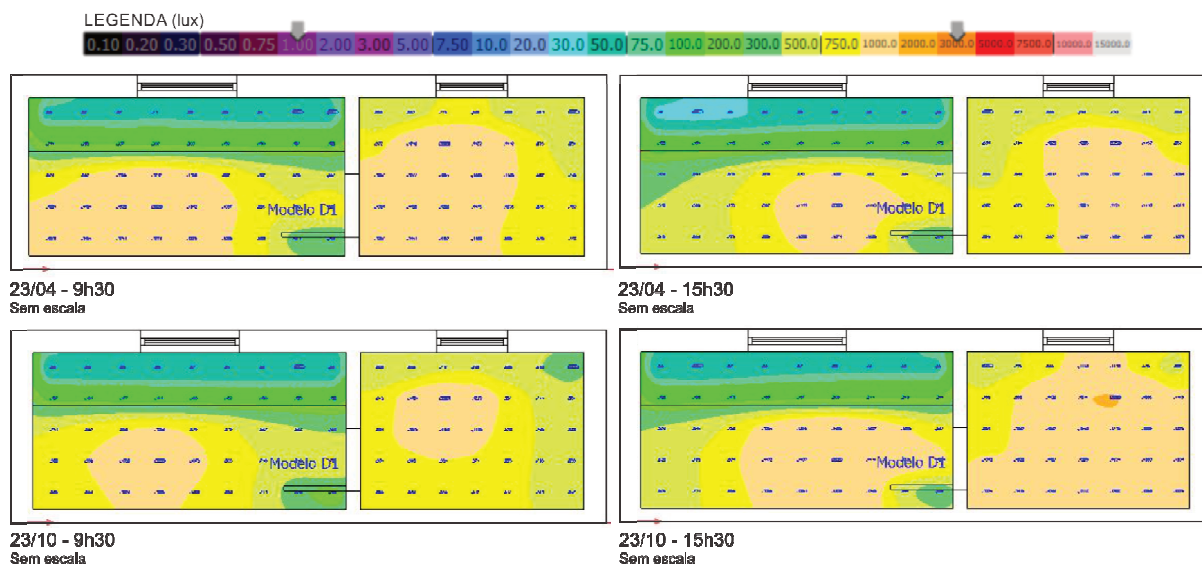
Amostras Analisadas				Refletância (%)			
Amostra	Superfície	Acabamento	Cor	Ultravioleta	Visível	Infravermelho	Total
01	Piso	Porcelanato acetinado	Cinza	39,81	45,49	67,24	62,68
02	Piso	Porcelanato acetinado	Branco	56,64	63,15	64,55	64,08
03	Parede	Porcelanato acetinado	Branco	73,57	84,55	83,73	83,61
04	Parede	Porcelanato polido	Branco	79,19	90,47	88,29	88,43
05	Parede e teto	Pintura semibrilho em reboco	Gelo	29,75	64,91	59,05	59,59
06	Parede e teto	Pintura acetinada em reboco	Branco	41,40	95,51	72,80	76,41
07	Porta	MDF ⁵ com pintura acetinada	Branco	38,63	91,04	63,34	67,99
08	Perfil da janela	PVC ⁶	Branco	37,68	86,06	59,31	63,84
09	Bancada da pia	Granito polido	Preto	1,67	1,65	1,41	1,46
10	Bancada da pia	Granito polido	Verde Escuro	2,10	2,21	2,18	2,18

⁵ MDF – *Medium Density Fiberboard*.

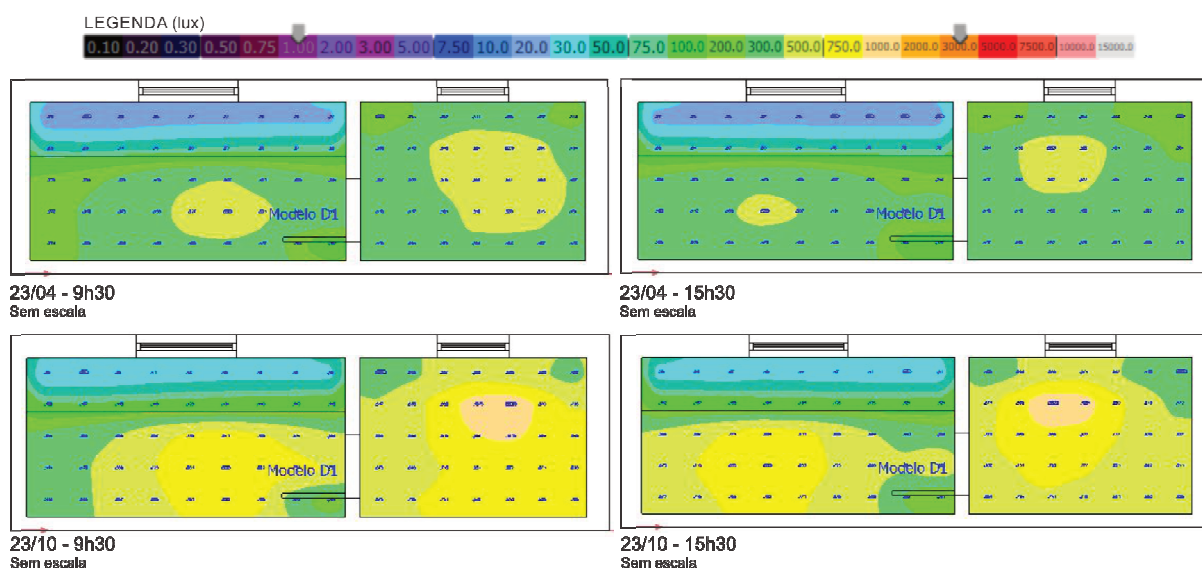
⁶ PVC – Policloreto de Vinila.

APÊNDICE D – RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DA NBR 15575

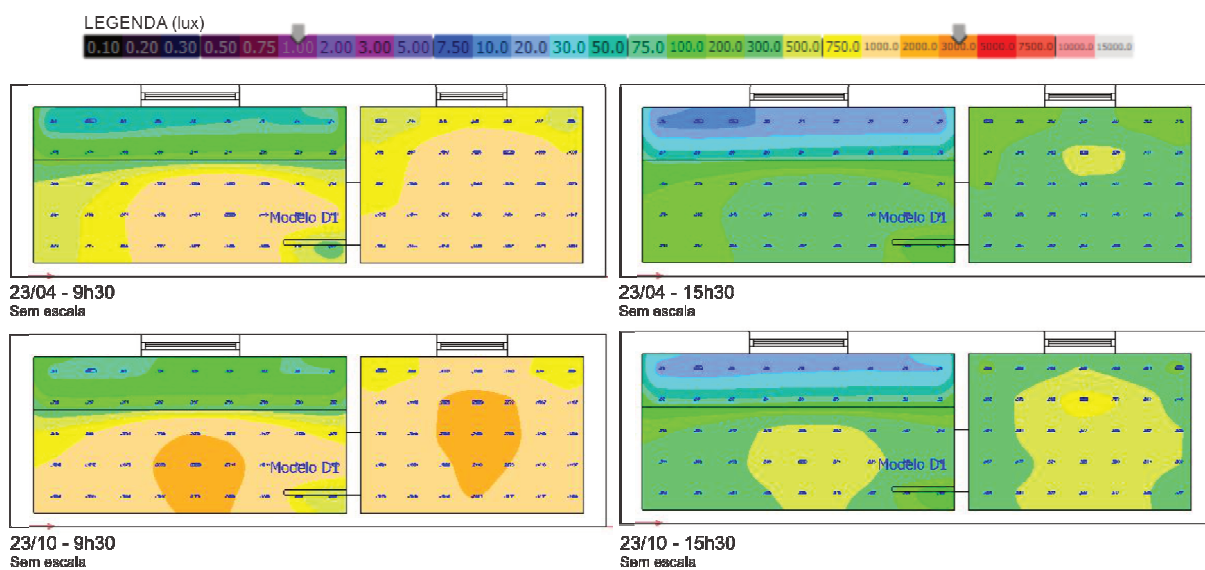
- Modelo D1 – orientação solar norte:



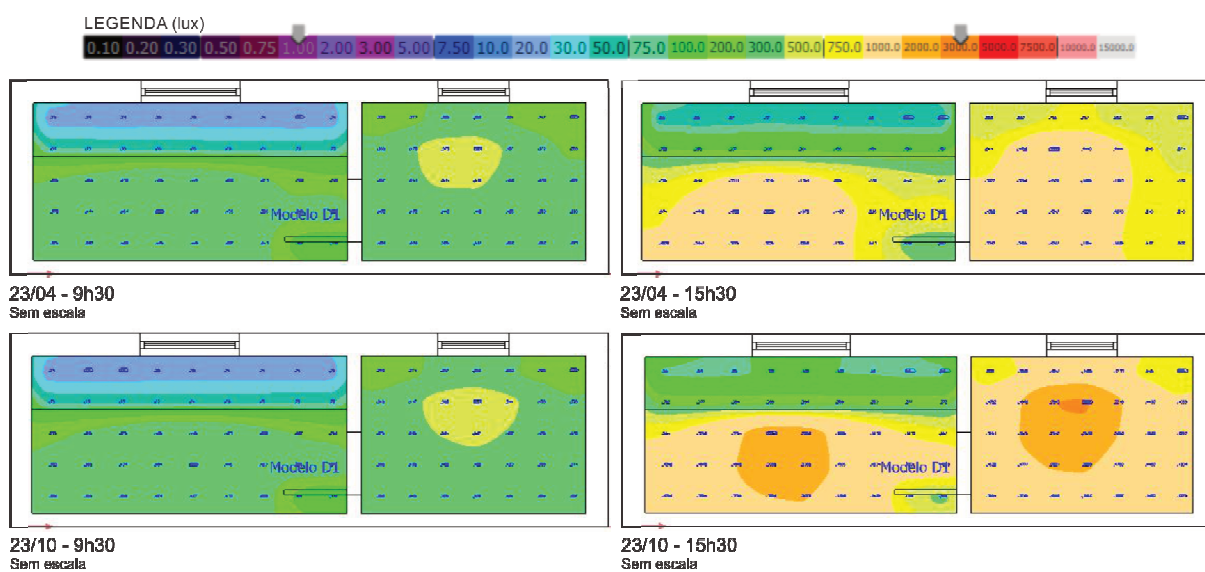
- Modelo D1 – orientação solar sul:



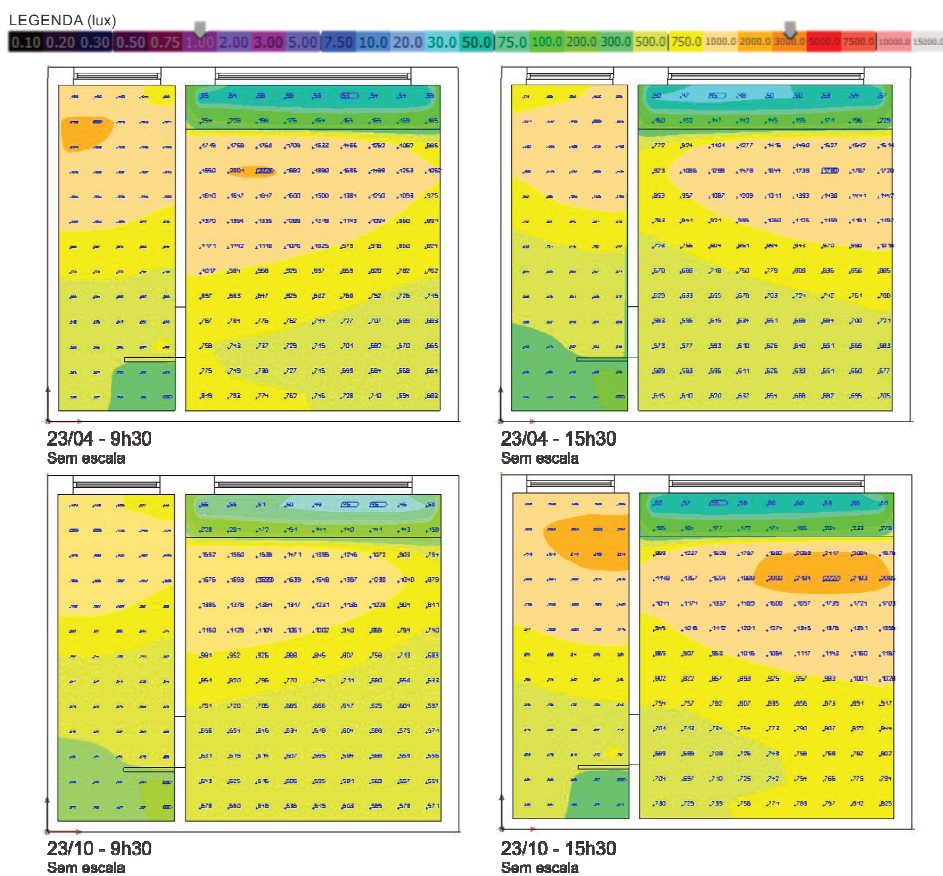
- Modelo D1 – orientação solar leste:



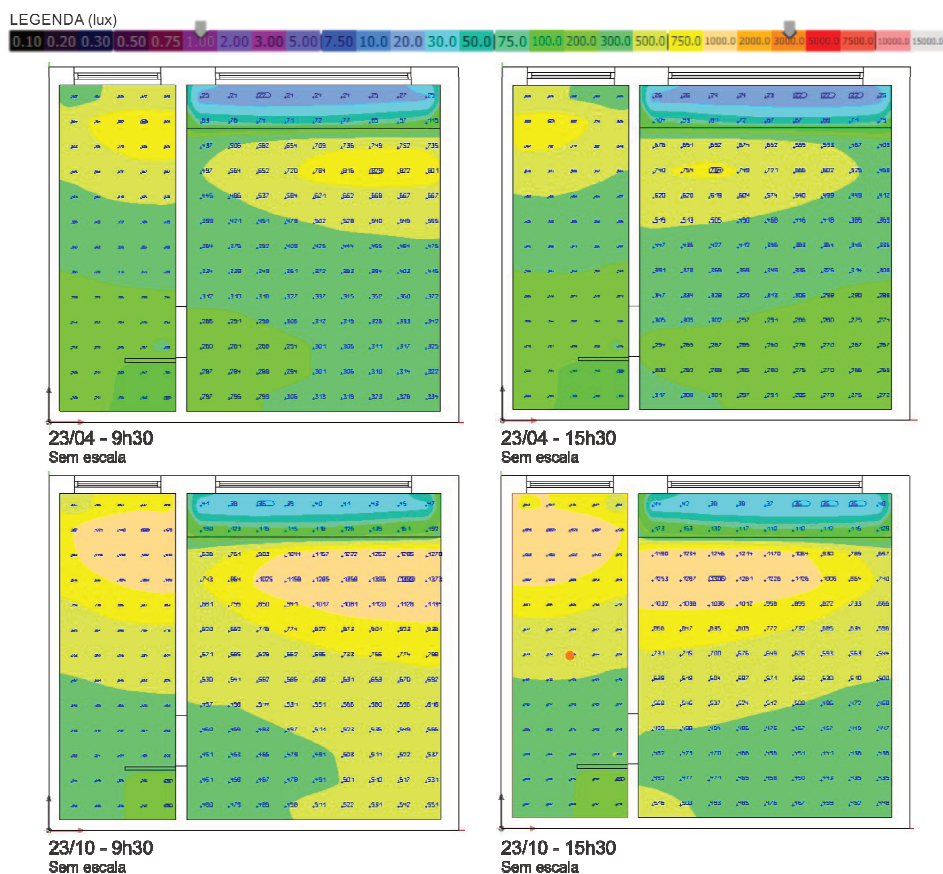
- Modelo D1 – orientação solar oeste:



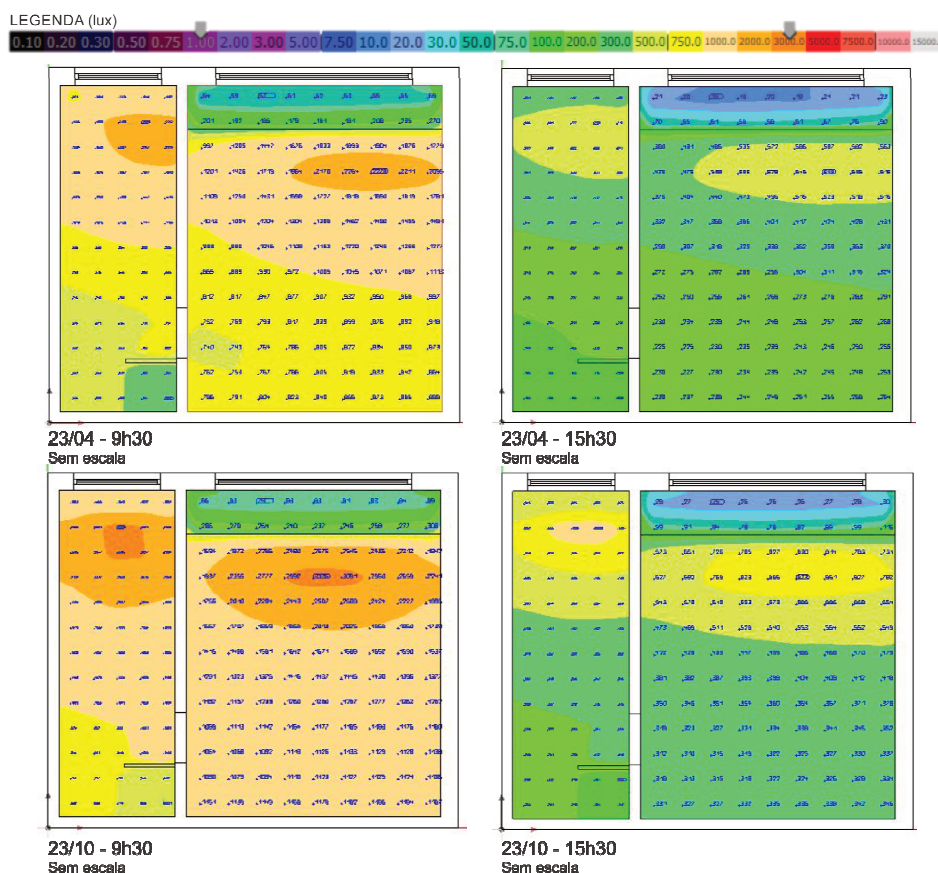
- Modelo D2 – orientação solar norte:



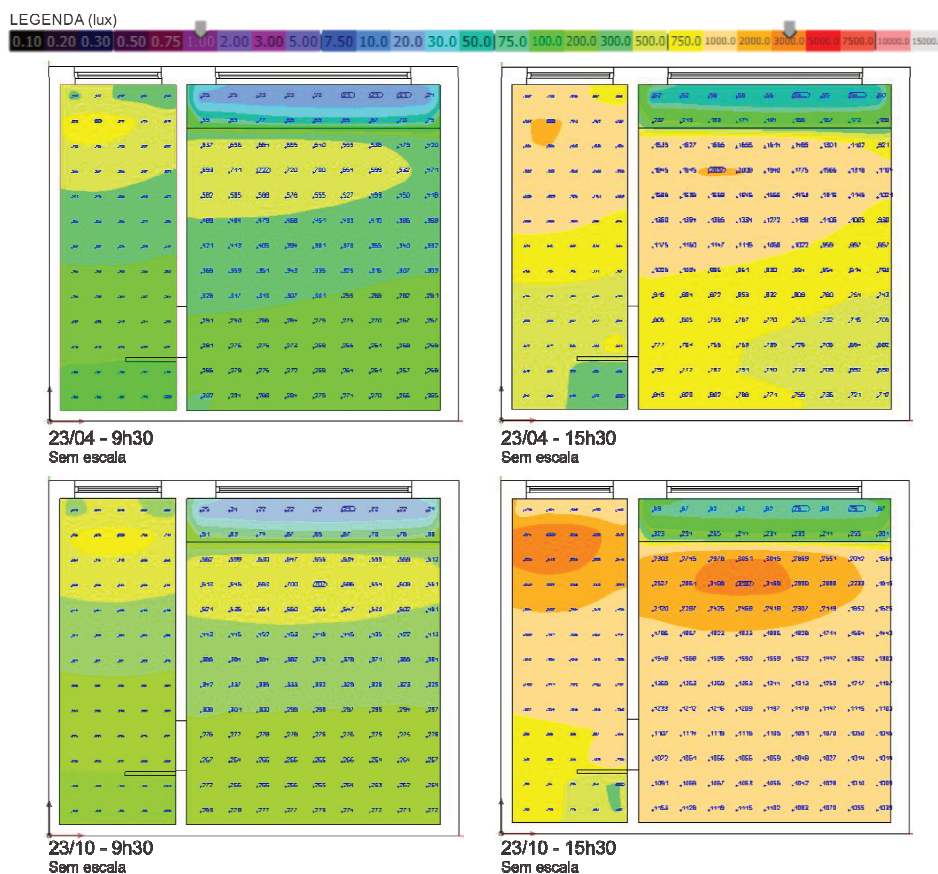
- Modelo D2 – orientação solar sul:



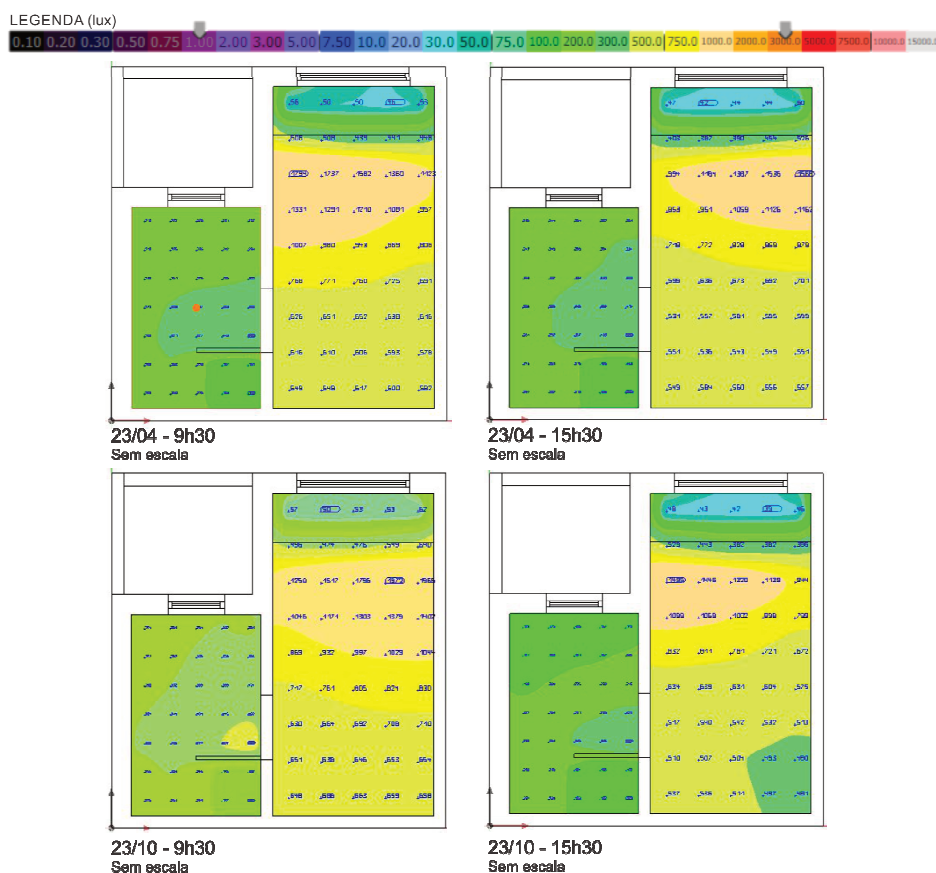
- Modelo D2 – orientação solar leste:



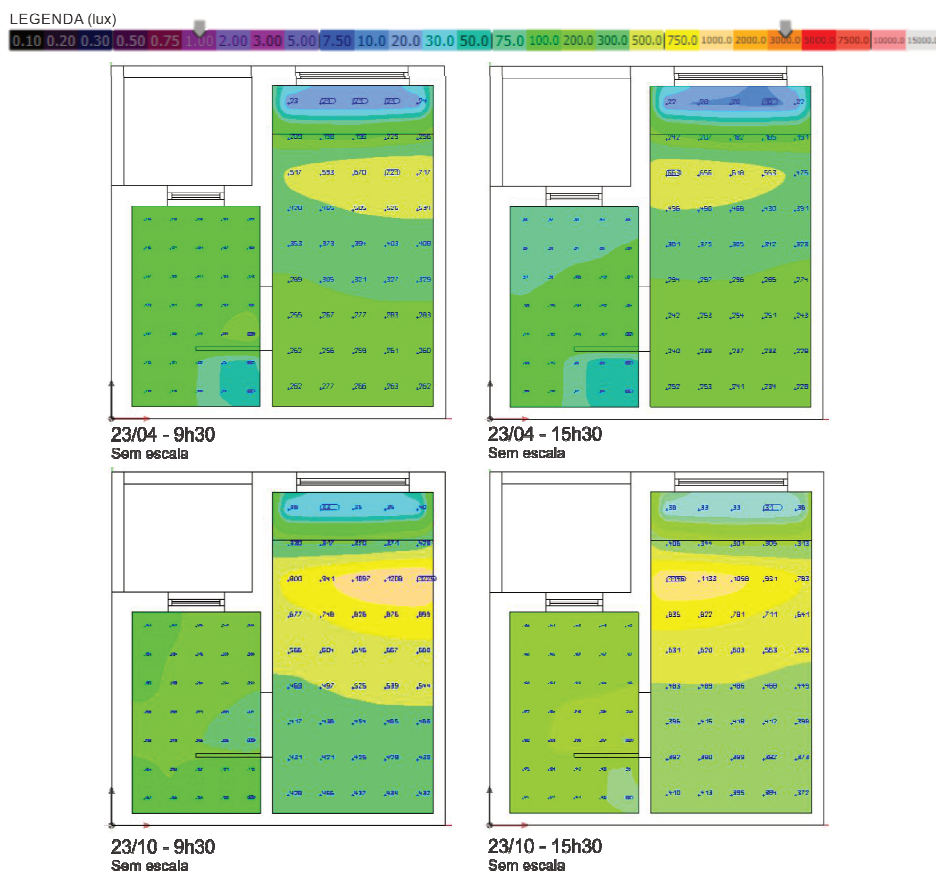
- Modelo D2 – orientação solar oeste:



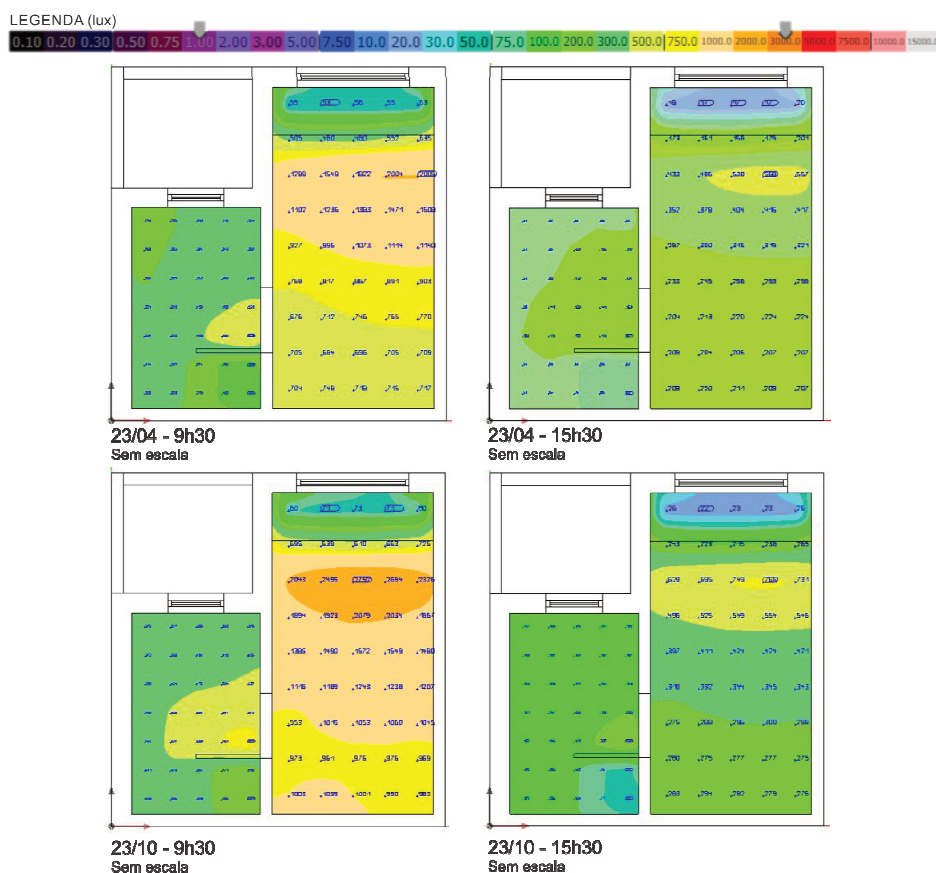
- Modelo D3 – orientação solar norte:



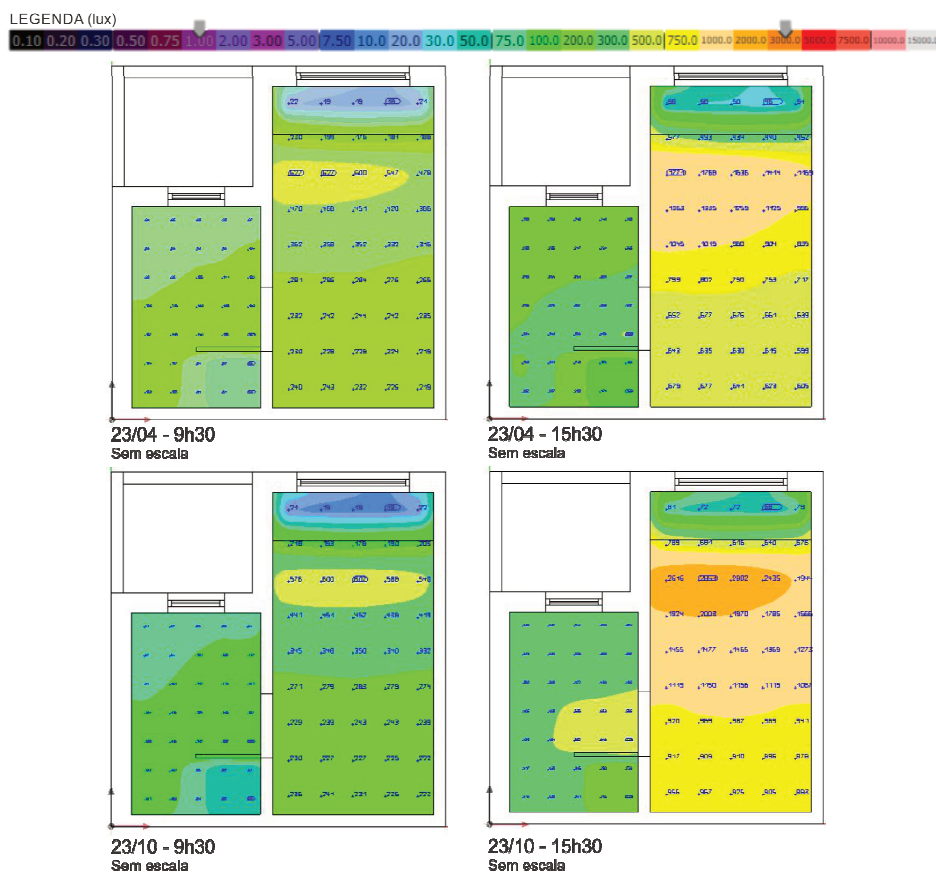
- Modelo D3 – orientação solar sul:



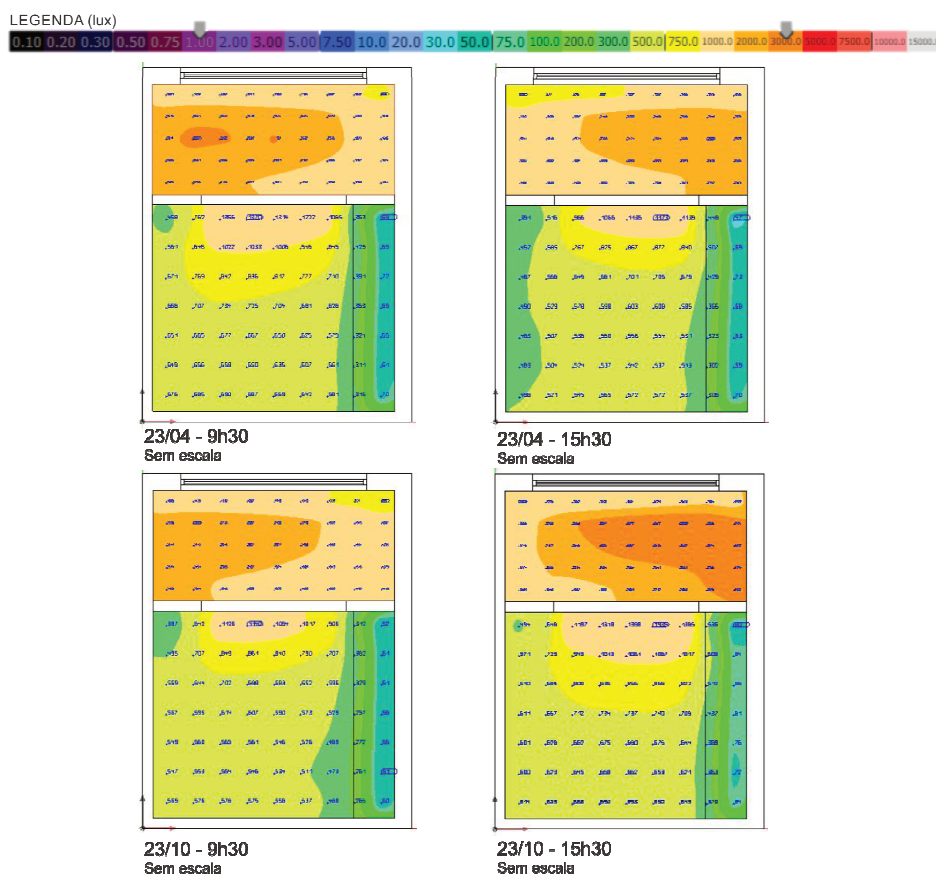
- Modelo D3 – orientação solar leste:



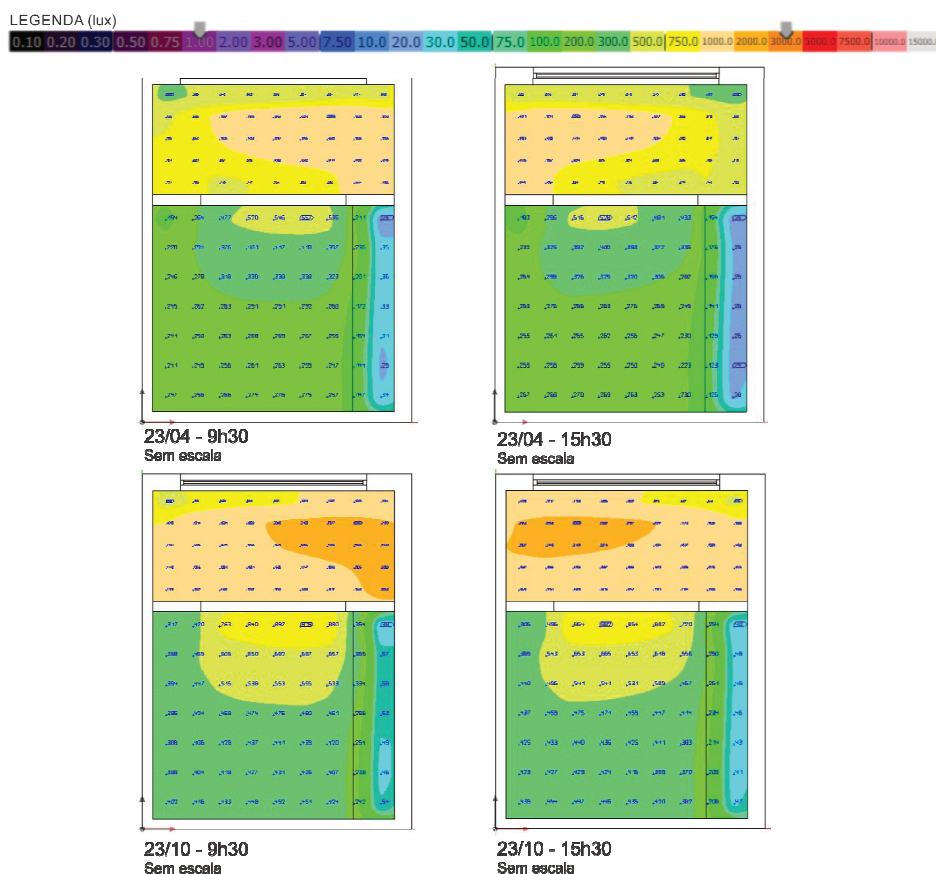
- Modelo D3 – orientação solar oeste:



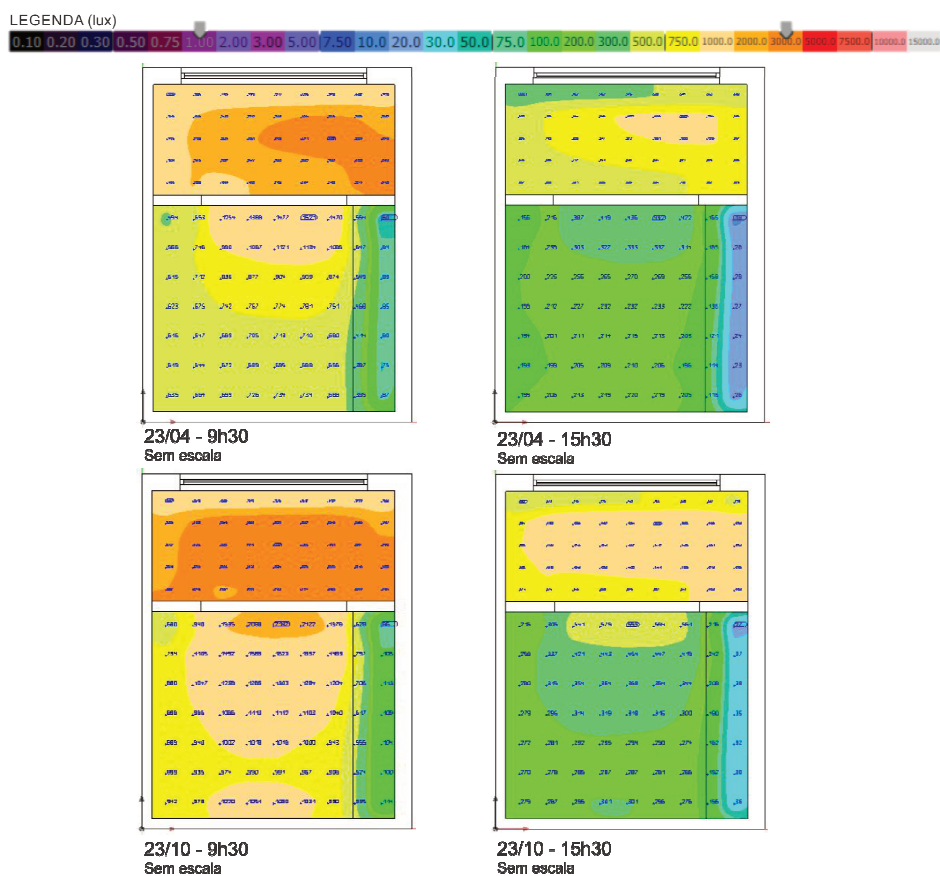
- Modelo I1 – orientação solar norte:



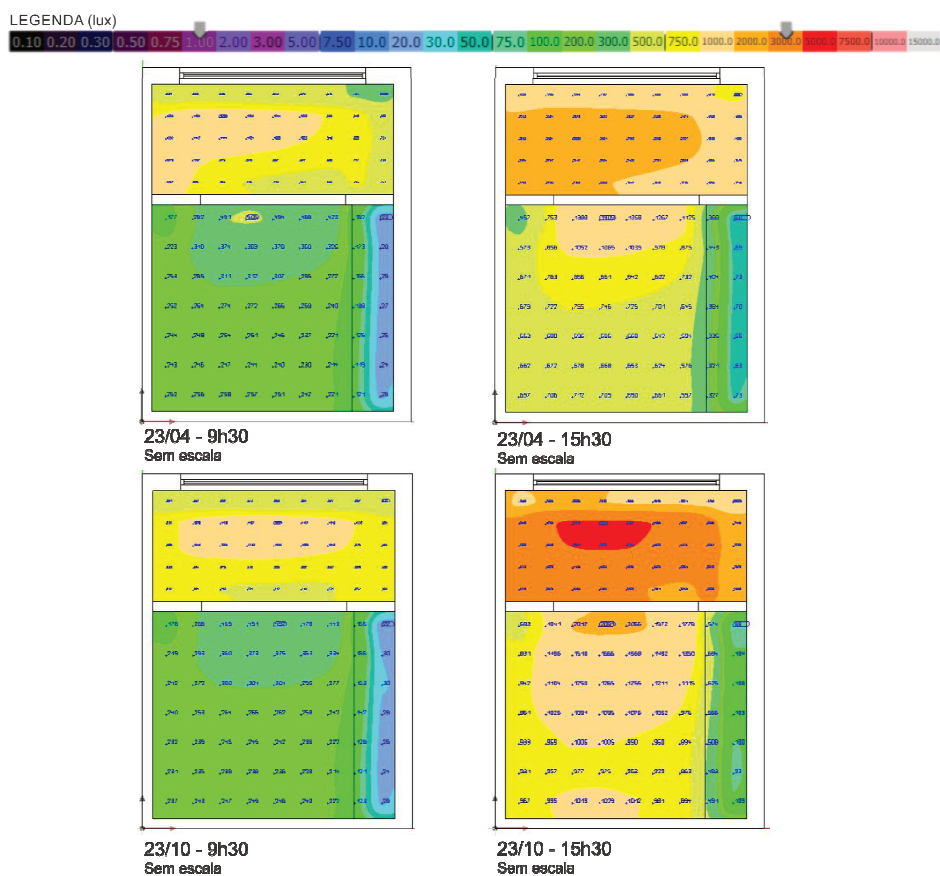
- Modelo I1 – orientação solar sul:



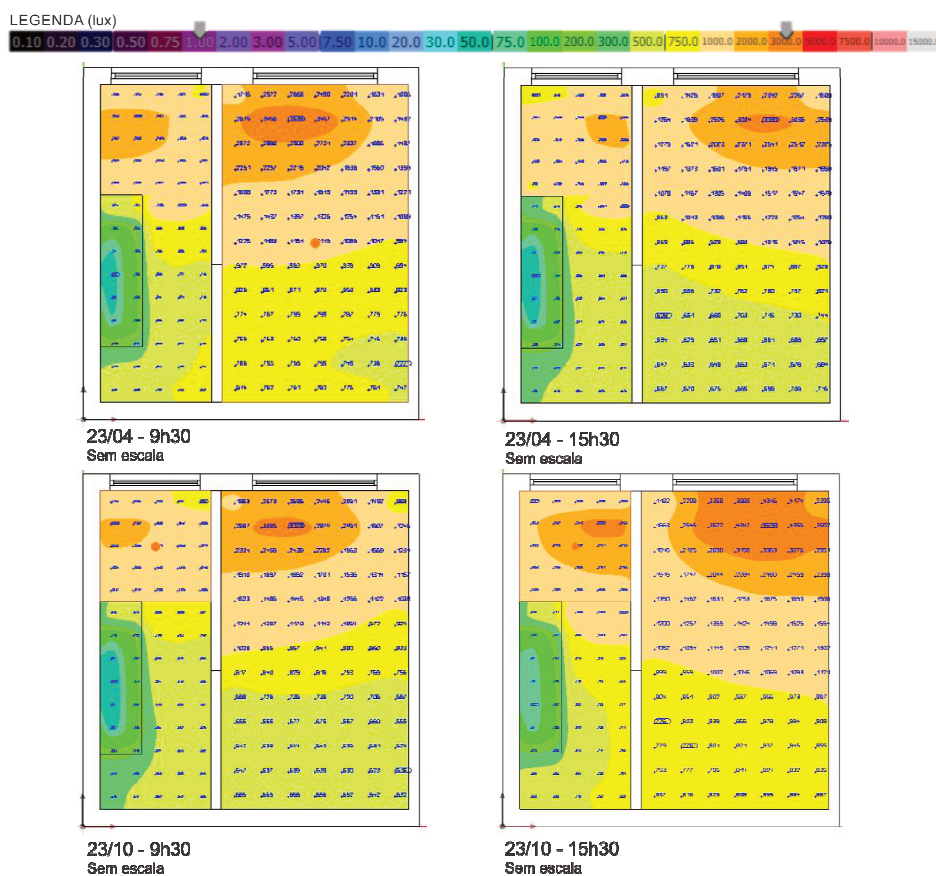
- Modelo I1 – orientação solar leste:



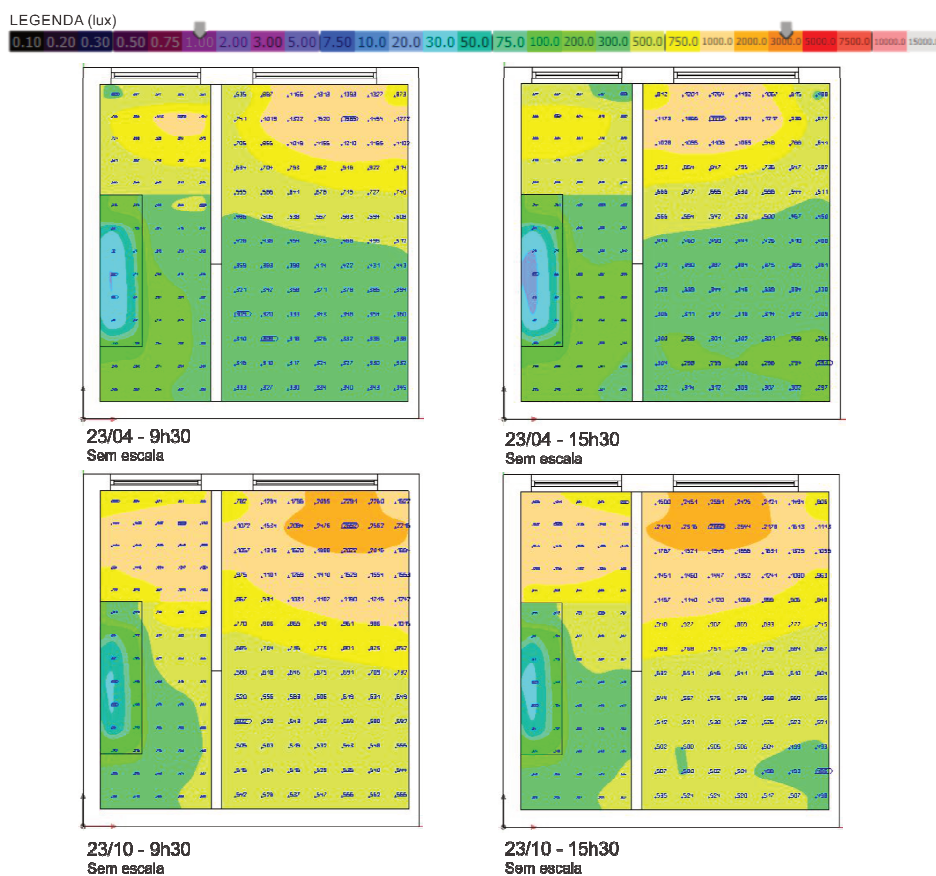
- Modelo I1 – orientação solar oeste:



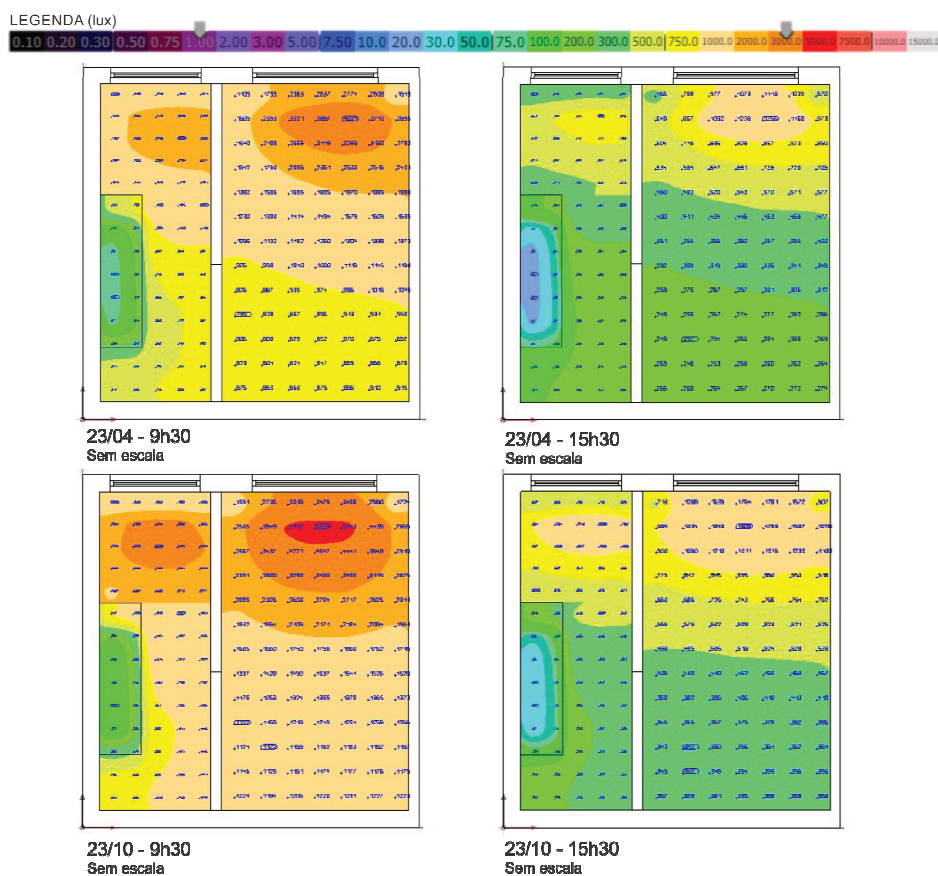
- Modelo I2 – orientação solar norte:



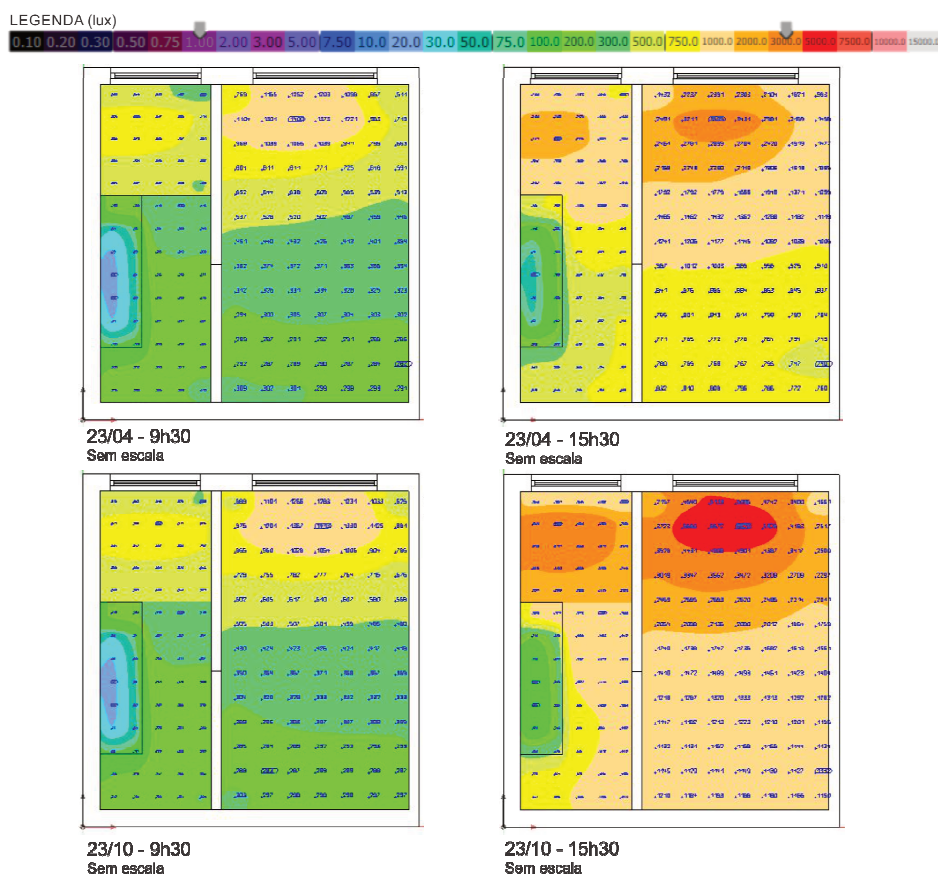
- Modelo I2 – orientação solar sul:



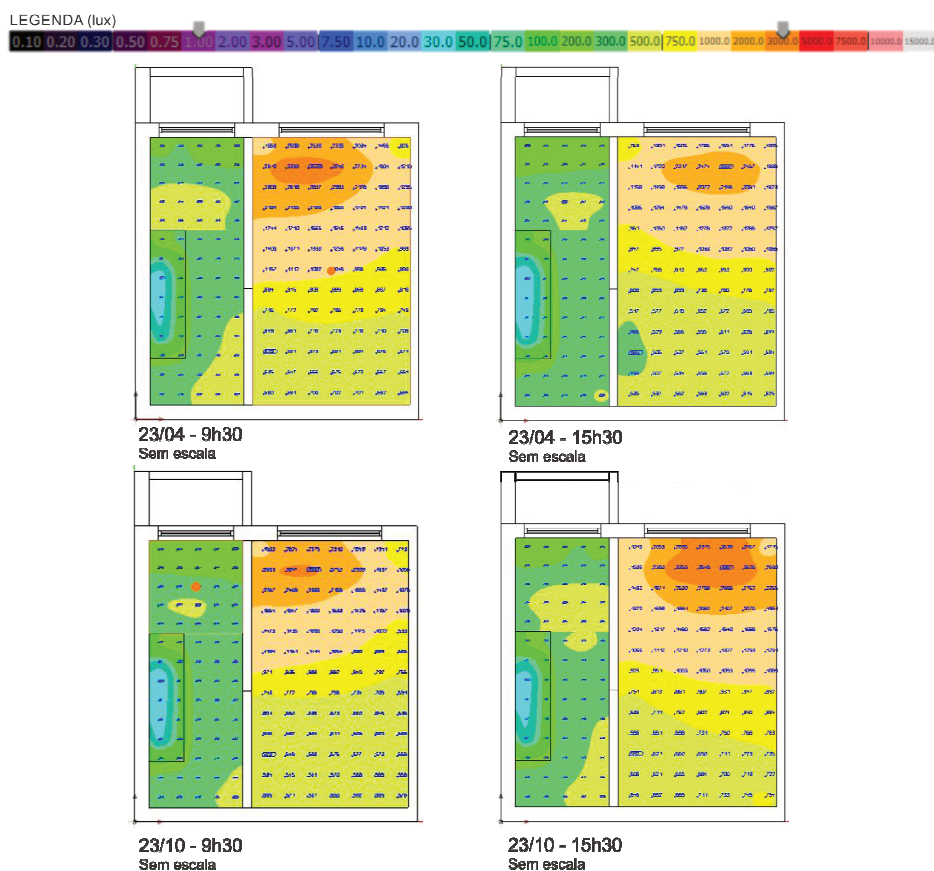
- Modelo I2 – orientação solar leste:



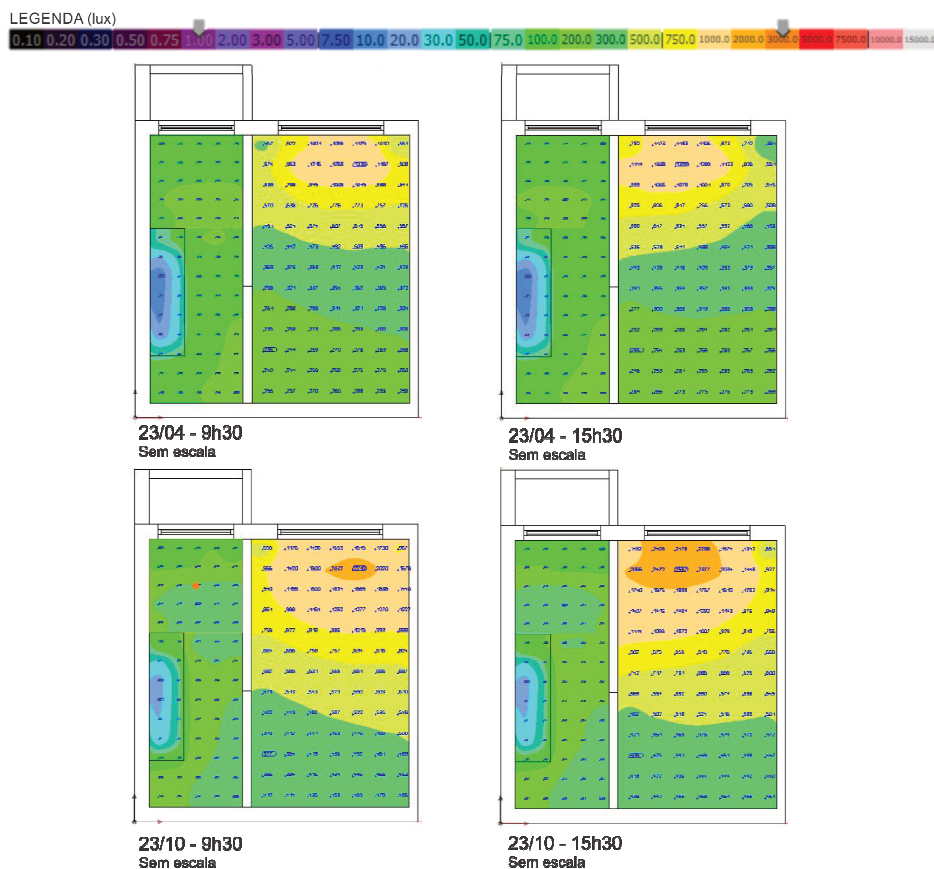
- Modelo I2 – orientação solar oeste:



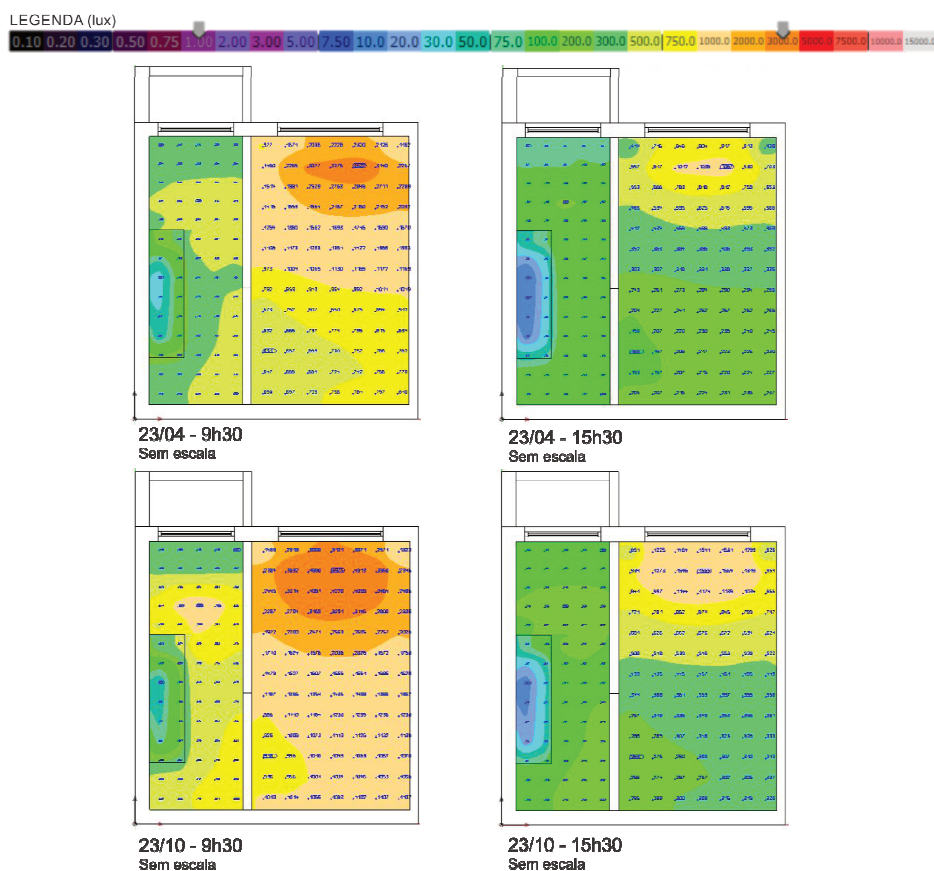
- Modelo I3 – orientação solar norte:



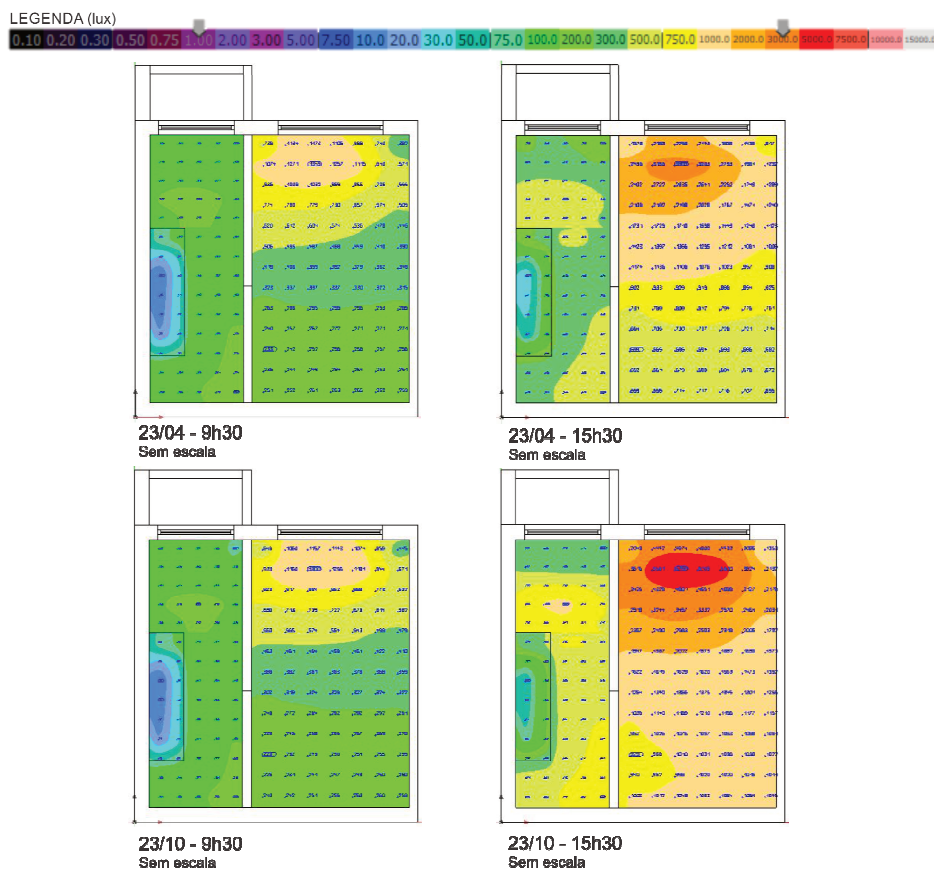
- Modelo I3 – orientação solar sul:



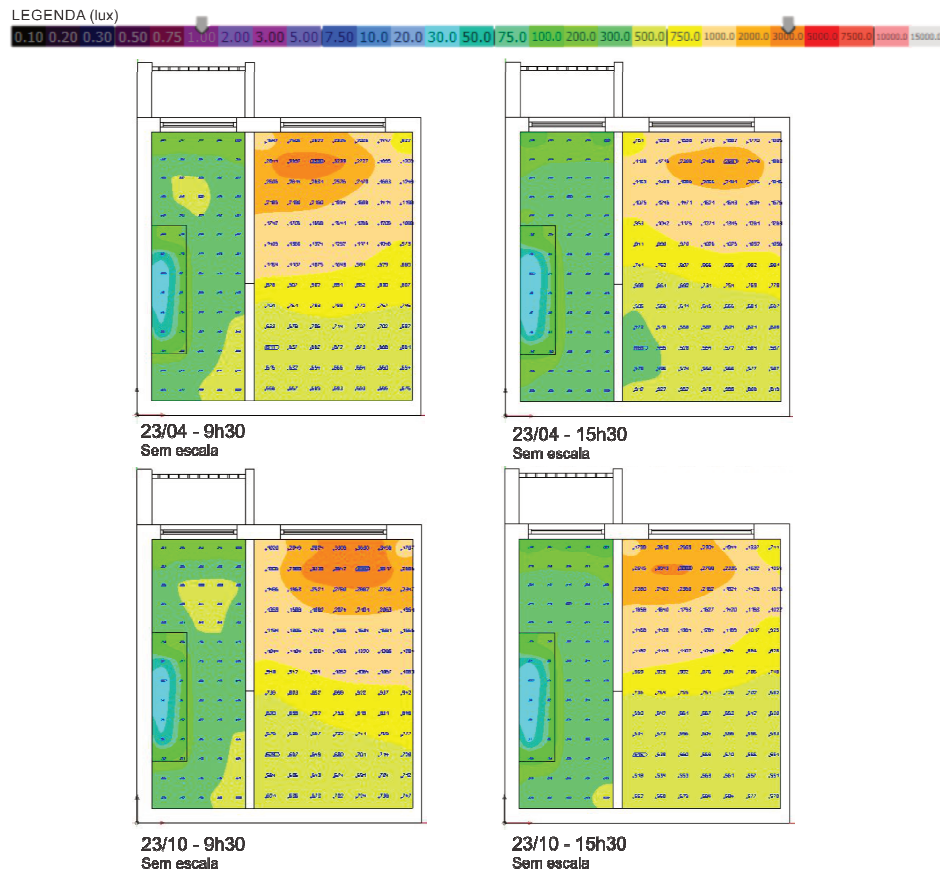
- Modelo I3 – orientação solar leste:



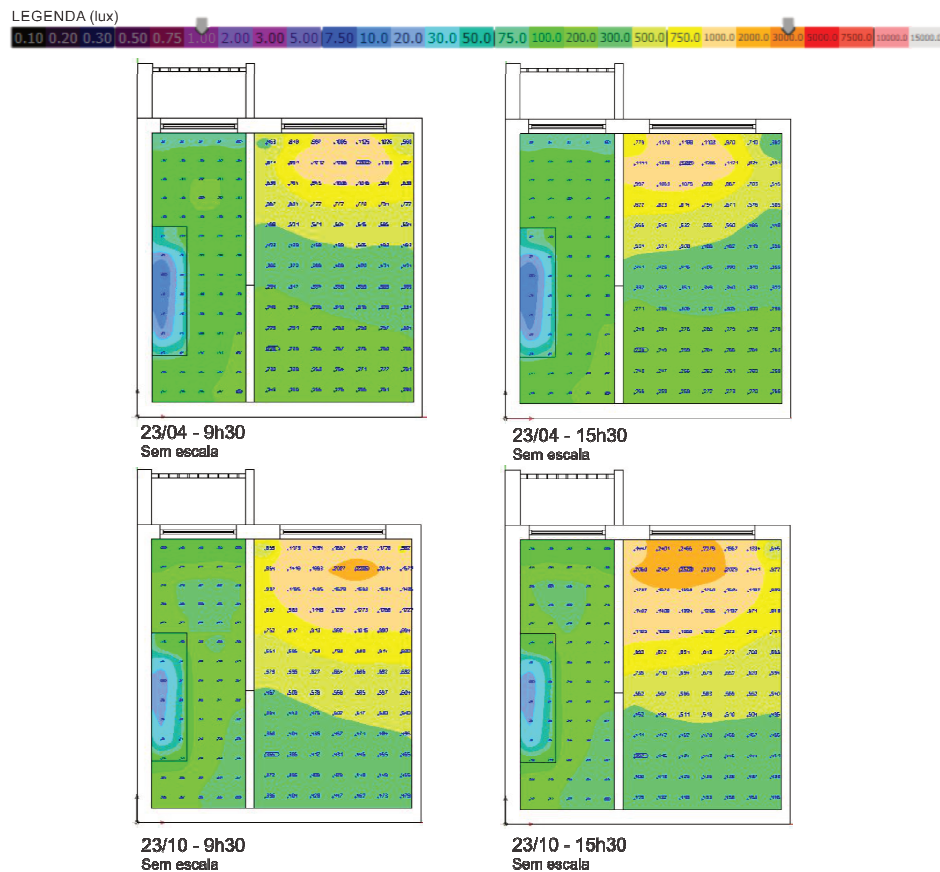
- Modelo I3 – orientação solar oeste:



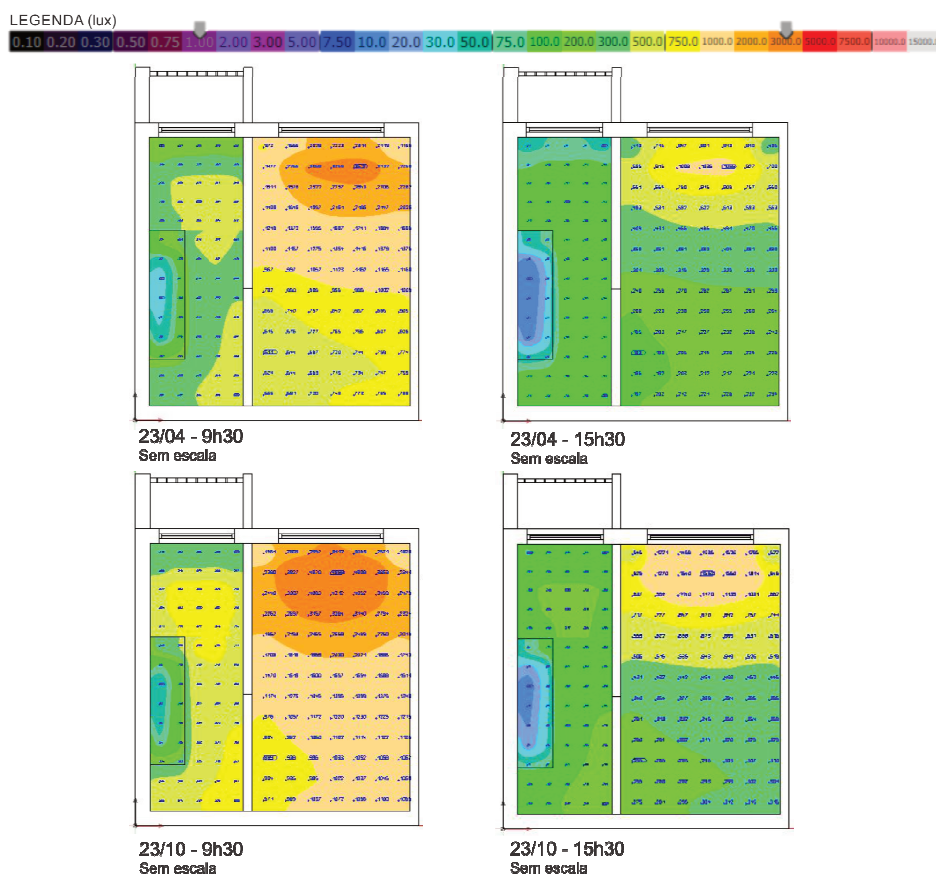
- Modelo I4 – orientação solar norte:



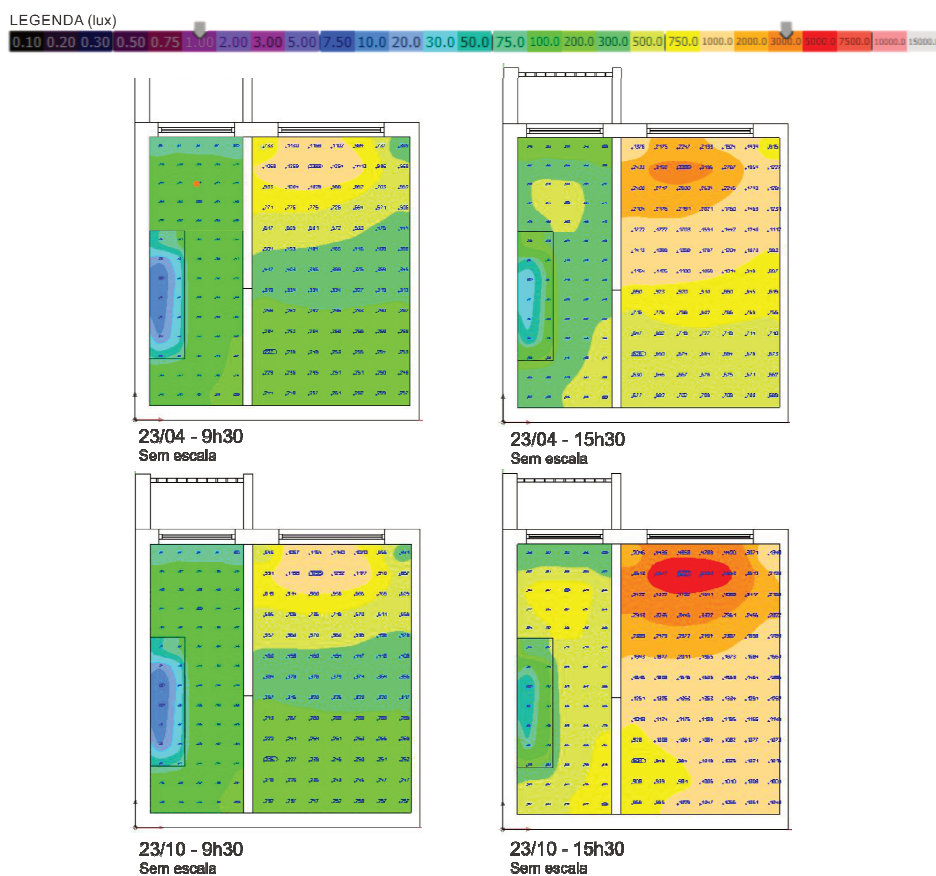
- Modelo I4 – orientação solar sul:



- Modelo I4 – orientação solar leste:



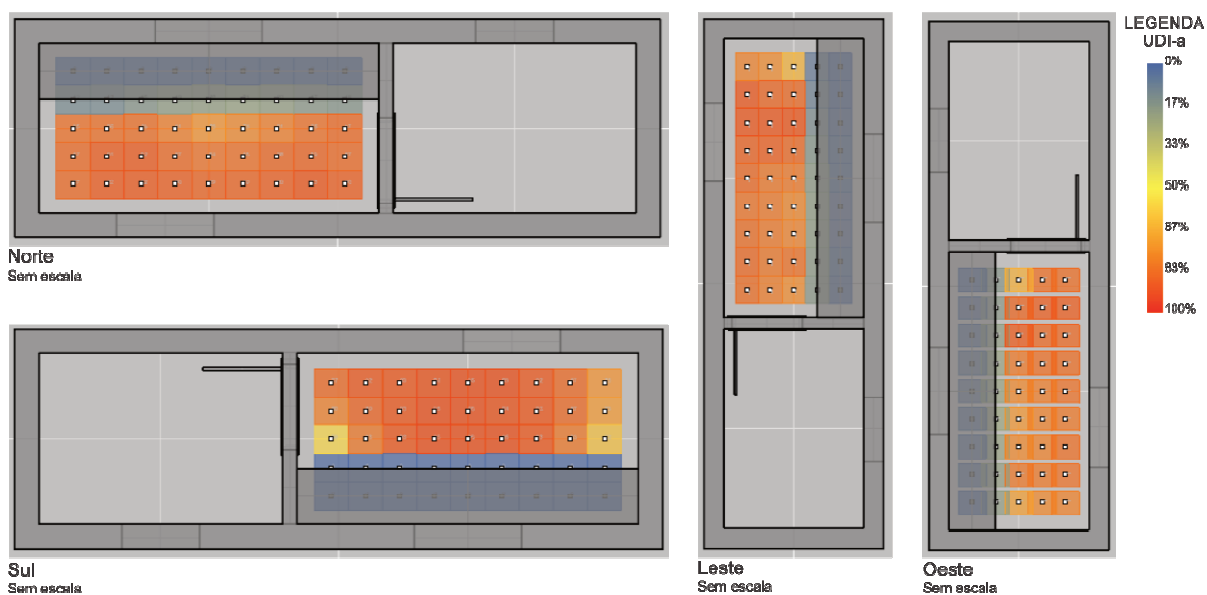
- Modelo I4 – orientação solar oeste:



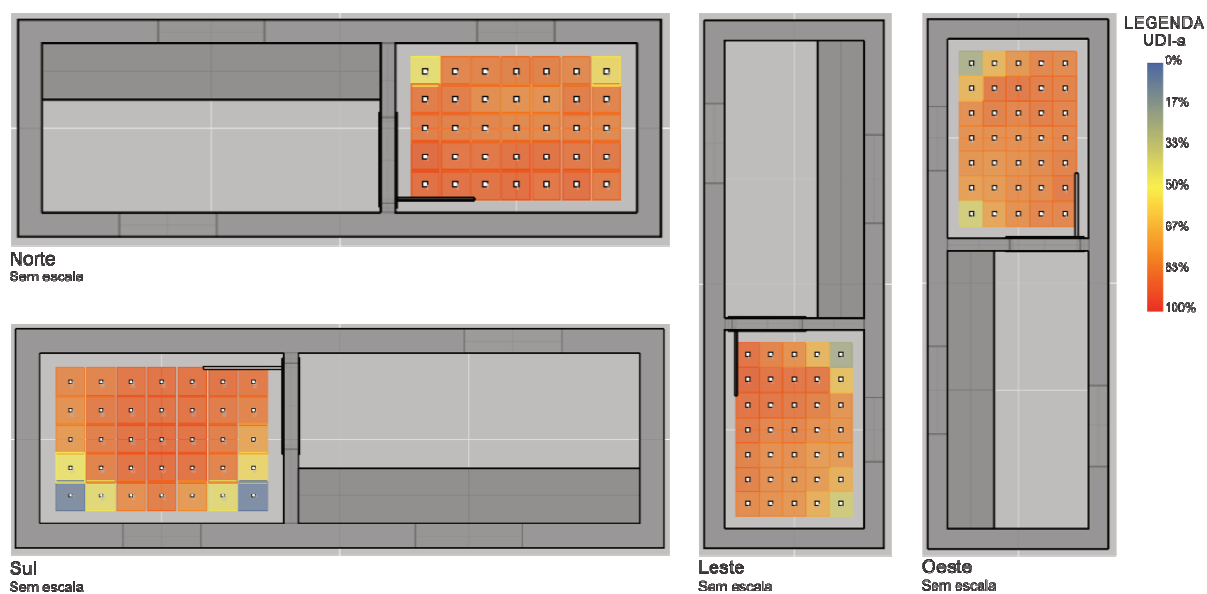
APÊNDICE E – RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DO MÉTODO UDI

- Os resultados abaixo foram obtidos para o intervalo UDI-a ao longo de 3.650 horas simuladas para cada ambiente de cada modelo.

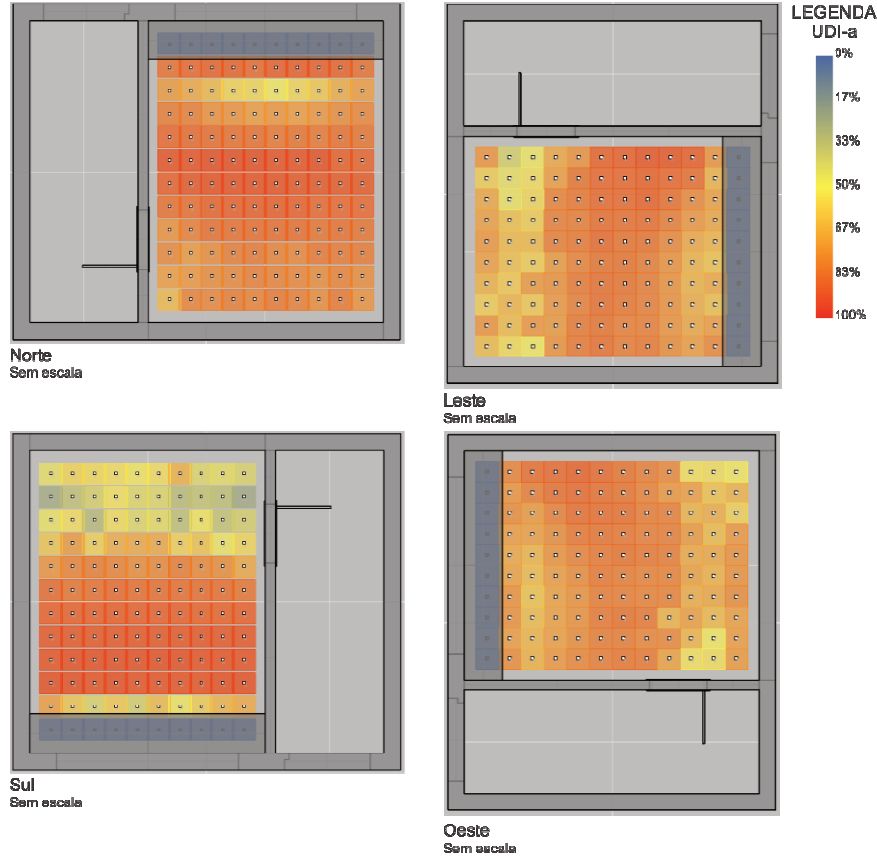
- Modelo D1 - cozinha:



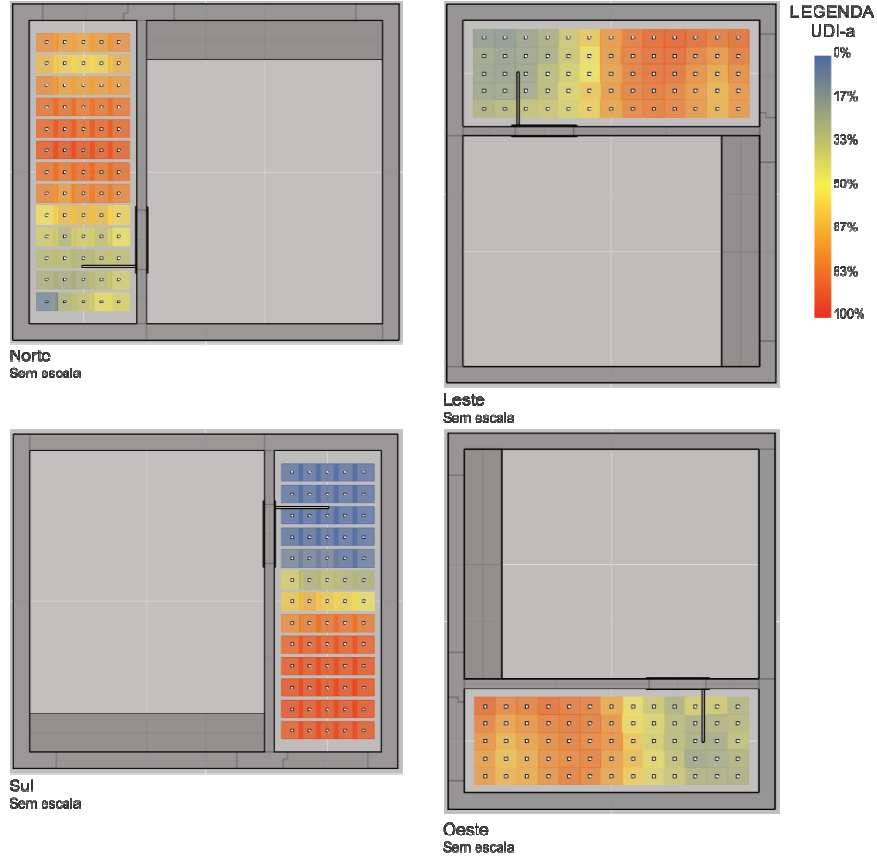
- Modelo D1 - área de serviço:



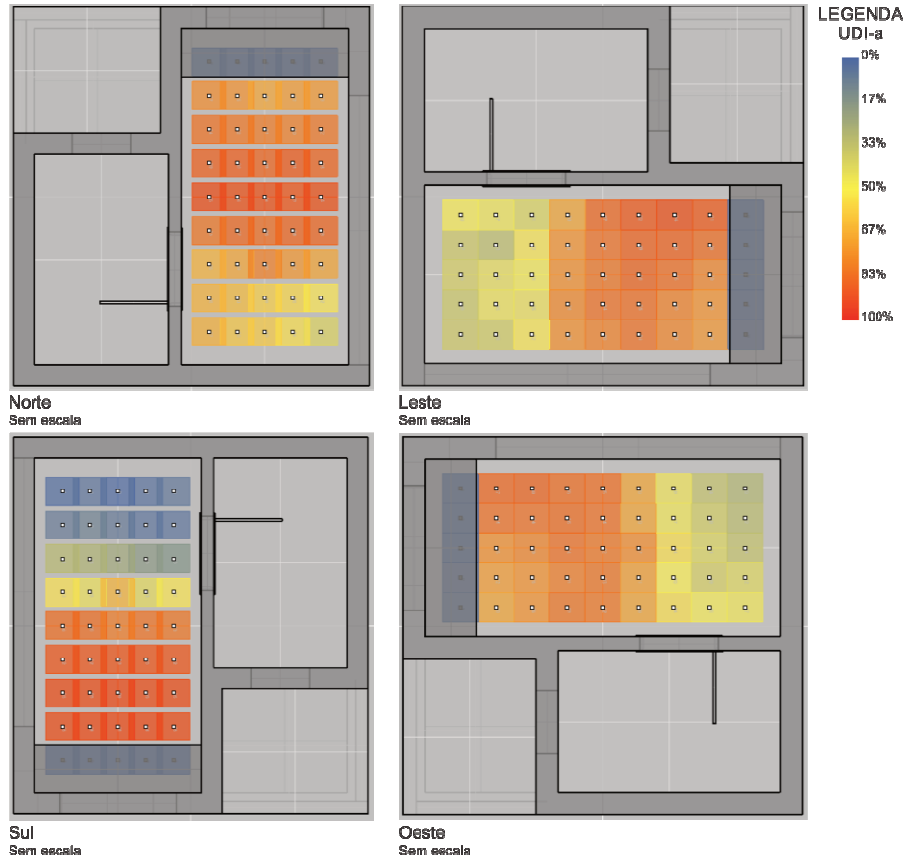
- Modelo D2 - cozinha:



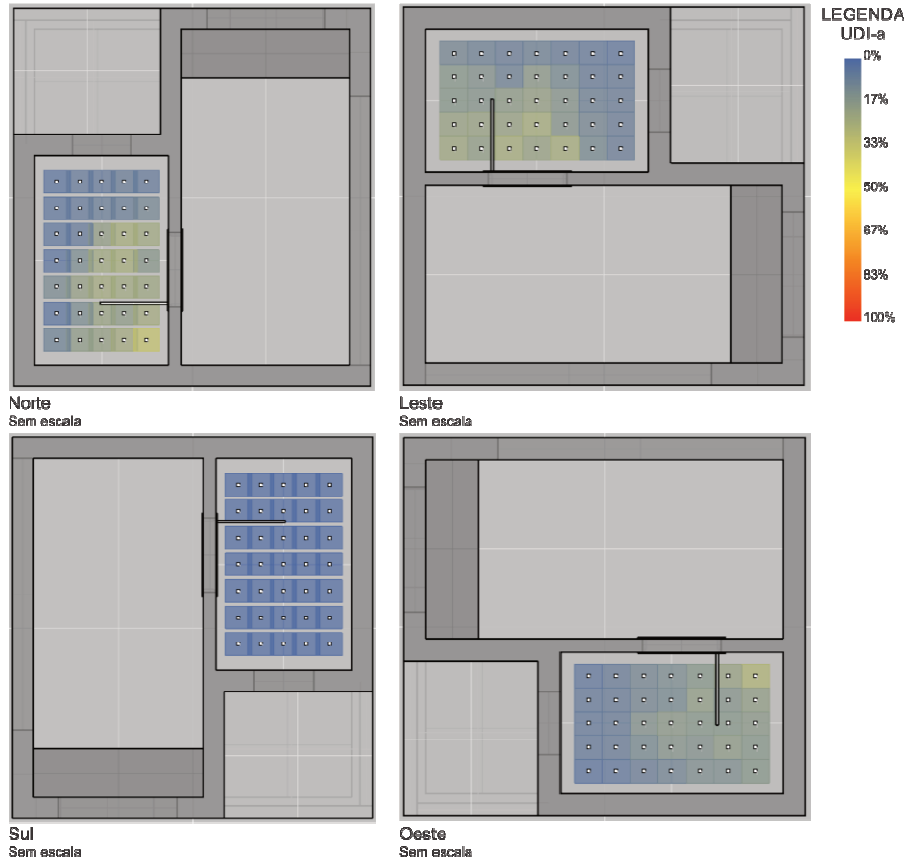
- Modelo D2 – área de serviço:



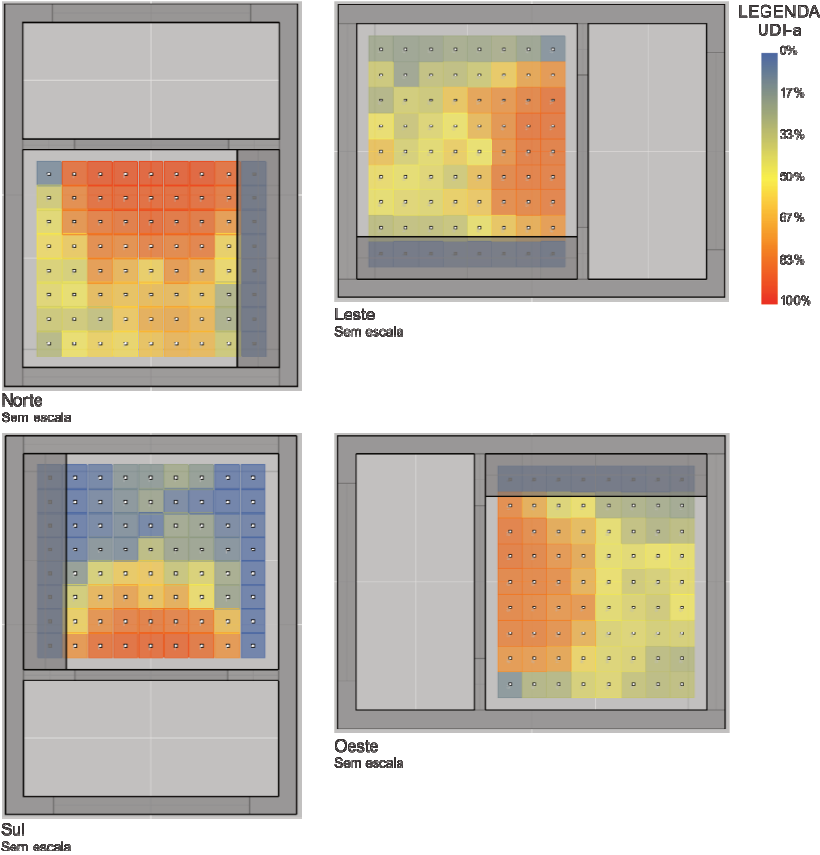
- Modelo D3 - cozinha:



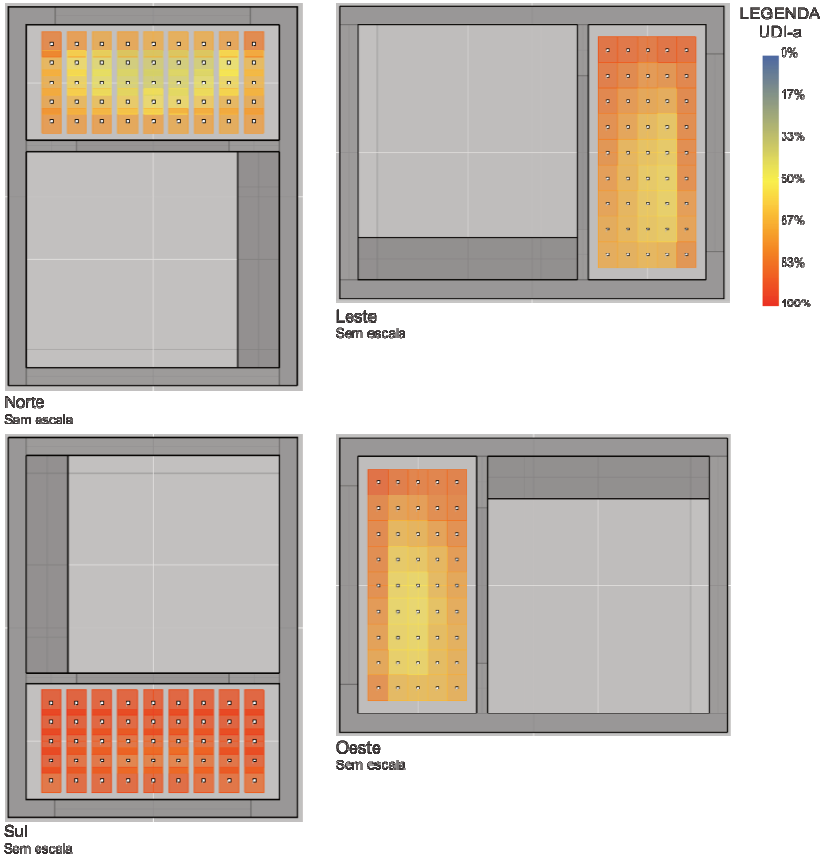
- Modelo D3 – área de serviço:



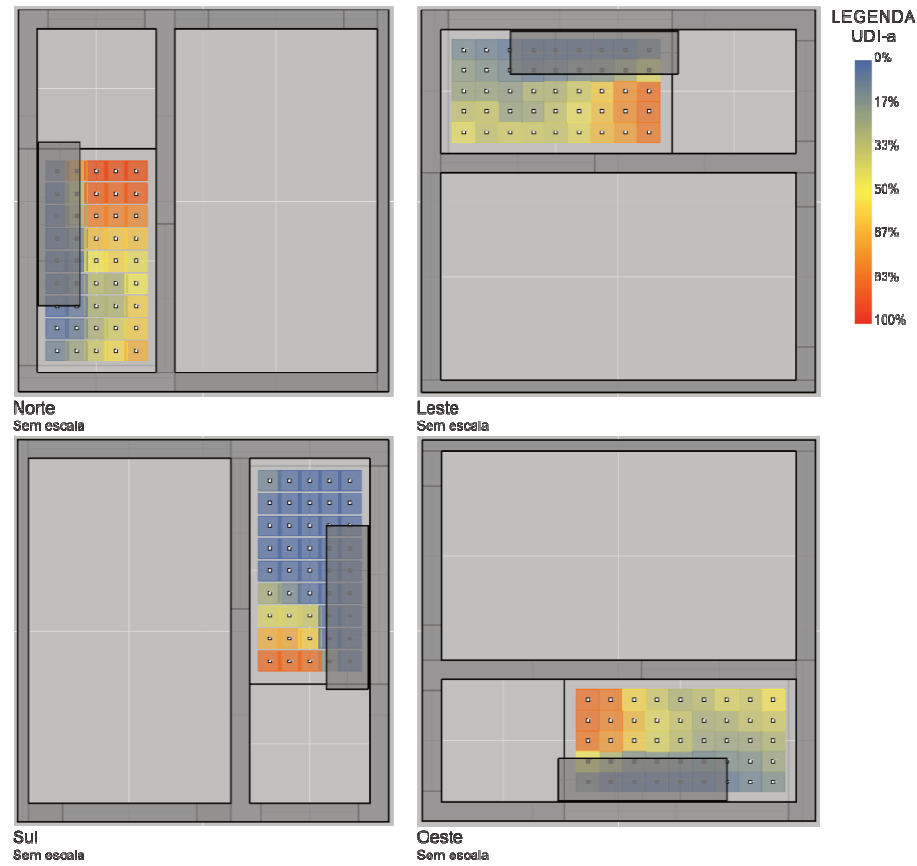
- Modelo I1 - cozinha:



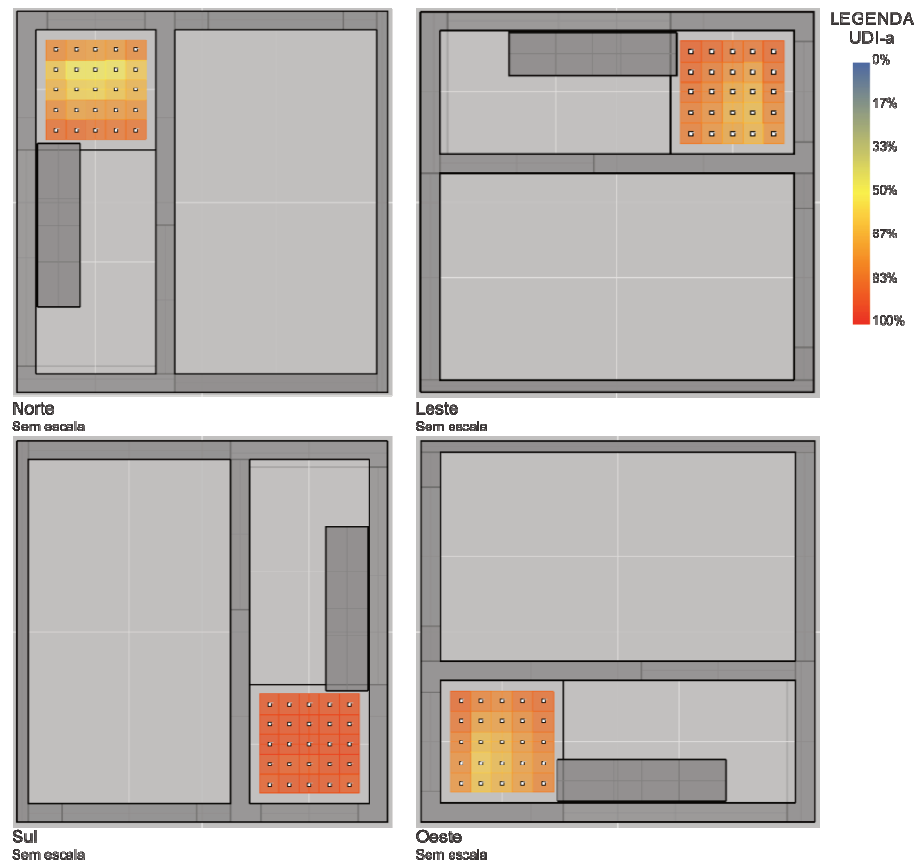
- Modelo I1 – área de serviço:



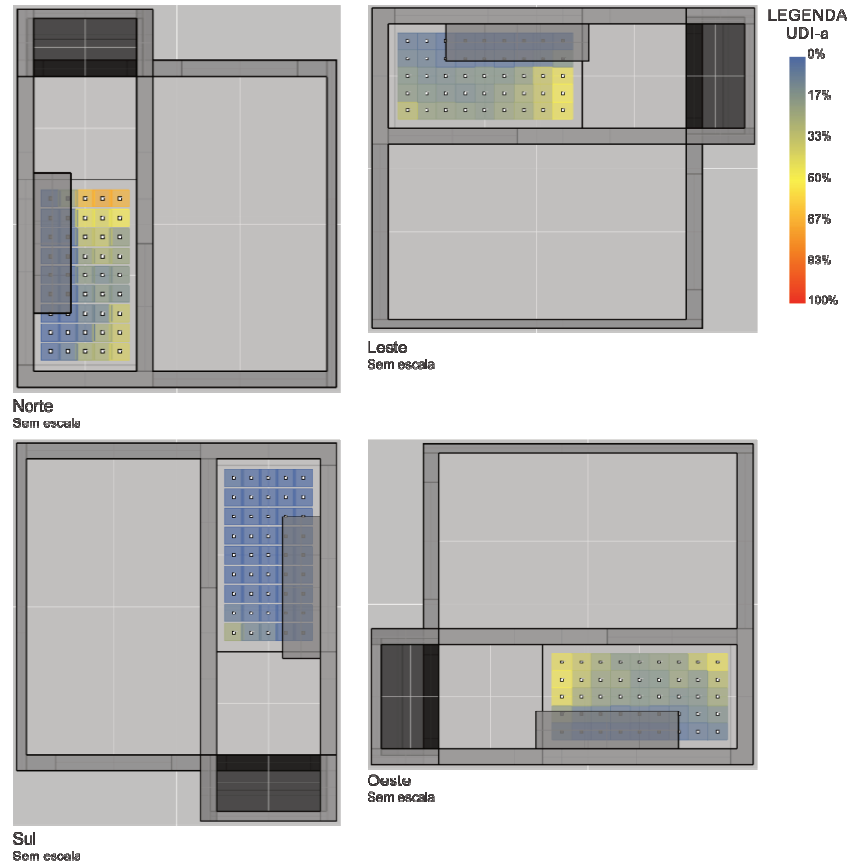
- Modelo I2 - cozinha:



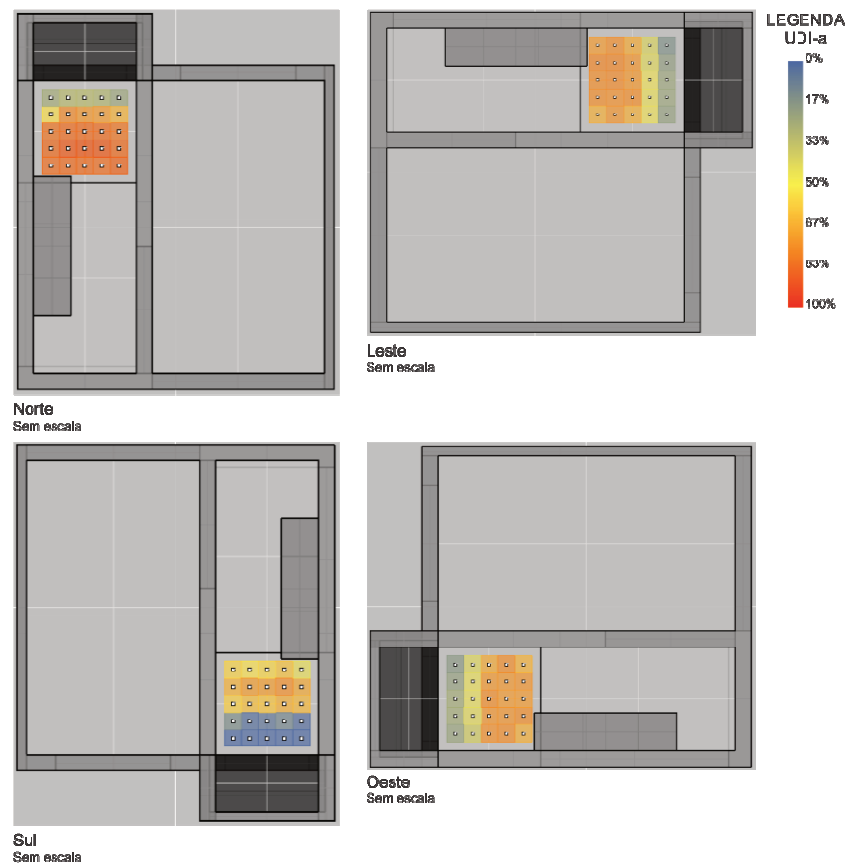
- Modelo I2 – área de serviço:



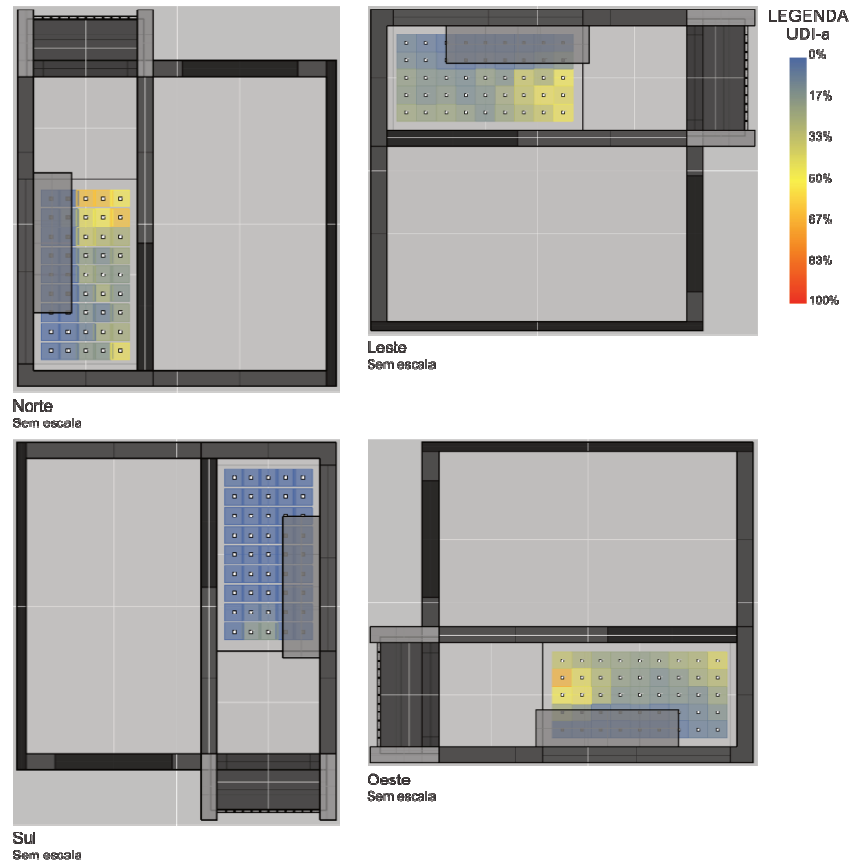
- Modelo I3 - cozinha:



- Modelo I3 – área de serviço:



- Modelo I4 - cozinha:



- Modelo I4 – área de serviço:

