

**UNIVERSIDADE VILA VELHA – ES**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E CIDADE**

**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL: AVALIAÇÃO EM MODELOS  
REPRESENTATIVOS DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS EM  
VITÓRIA – ES**

**FELIPE ALMEIDA CARPANEDO**

**VILA-VELHA**  
**FEVEREIRO / 2020**

**UNIVERSIDADE VILA VELHA – ES**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E CIDADE**

**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL: AVALIAÇÃO EM MODELOS  
REPRESENTATIVOS DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS EM  
VITÓRIA – ES**

Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Cidade.

**FELIPE ALMEIDA CARPANEDO**

**VILA-VELHA**  
**FEVEREIRO / 2020**

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UUV-ES

C294d Carpanedo, Felipe Almeida  
Desempenho da luz natural: avaliação em modelos representativos de edifícios de escritórios em Vitória - ES / Felipe Almeida Carpanedo – 2020.  
130 f.; il.

Orientadora: Érica Coelho Pagel.  
Coorientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Cidade) - Universidade Vila Velha, 2020.  
Inclui bibliografias.

1. Arquitetura. 2. Ambiente de trabalho – Iluminação. 3. Edifícios comerciais – Efeito da luz. 4. Simulação (Computadores). I. Pagel, Érica Coelho. II. Bastos, Leopoldo Eurico Gonçalves. III. Universidade Vila Velha. IV. Título.

CDD 729.28

FELIPE ALMEIDA CARPANEDO

DESEMPENHO DA LUZ NATURAL: AVALIAÇÃO EM MODELOS  
REPRESENTATIVOS DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS EM  
VITÓRIA – ES

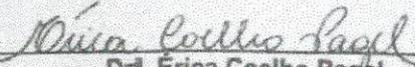
Dissertação apresentada à Universidade  
Vila Velha, como pré-requisito do Programa  
de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade  
para obtenção do grau de Mestre em  
Arquitetura e Cidade.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2020,

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Dr<sup>a</sup>. Cynthia Marcossini Loureiro Santos (UVV)

  
\_\_\_\_\_  
Dr<sup>a</sup>. Andréa Coelho Laranja (UFES)

  
\_\_\_\_\_  
Dr<sup>a</sup>. Érica Coelho Pagel – (UVV)  
Orientadora

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora, Profa. Dra. Érica Coelho Pagel, pelo carinho, orientação, confiança e direcionamento ao longo de toda a pesquisa. Obrigado pela convivência muito prazerosa e ensinamentos que levarei por toda a minha vida.

Ao coorientador Prof. Dr. Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos, pelas orientações e direcionamentos.

Às professoras que participaram da banca de qualificação, Profa. Dra. Cynthia Monconsini Loureiro Santos e Profa. Dra. Andréa Coelho Laranja, pelas preciosas contribuições, que foram fundamentais ao desenvolvimento do trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

A todos os colegas da pós-graduação, pela troca de experiências, companheirismo e incentivo ao longo desta jornada.

Ao amigo e Prof. Me. Ricardo Nacari Maioli, obrigado por toda a generosidade como ser humano, especialmente na difusão do seu conhecimento e vivência na área de iluminação. Agradeço pelas oportunidades que me proporcionou através das suas experiências, contribuindo para o meu crescimento.

Agradecimentos aos meus queridos amigos, pelo apoio e incentivo ao longo desta fase.

Aos meus pais, Renato e Nádia, e ao meu irmão Gabriel, sinônimo de amor incondicional, que foram os grandes incentivadores ao longo de toda a minha vida, agradeço pelo exemplo de vida e por serem tão especiais.

À Camila, pela companhia, apoio, carinho e compreensão.

A Deus, por todas as oportunidades em minha vida e por estar sempre iluminando o meu caminho.

A todos aqueles que de alguma forma colaboraram com discussões, sugestões e incentivos ao sucesso deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS .....	19
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>19</b>
1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	20
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>23</b>
2.1 DESENVOLVIMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DOS EDIFÍCIOS COMERCIAIS.....	23
2.2 LUZ NATURAL NAS EDIFICAÇÕES .....	29
2.3 MÉTRICAS PARA O CONFORTO VISUAL .....	30
<b>2.3.1 Luminância</b> .....	<b>32</b>
<b>2.3.2 Iluminância</b> .....	<b>32</b>
<b>2.3.3 Ofuscamento</b> .....	<b>33</b>
<b>2.3.4 Uniformidade</b> .....	<b>34</b>
<b>2.3.5 Fator De Luz Do Dia (<i>Daylight Factor</i>)</b> .....	<b>34</b>
<b>2.3.6 Autonomia Da Luz Do Dia (<i>Daylight Autonomy - Da</i>)</b> .....	<b>35</b>
<b>2.3.7 Iluminância Útil Da Luz Do Dia (<i>Useful Daylight Illuminance</i>)</b> .....	<b>35</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
3.1 O LOCAL DE ESTUDO: A CIDADE DE VITÓRIA – ES .....	37
3.2 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE ESTUDO .....	38
<b>3.2.1 Construção Dos Modelos Representativos De Edifícios Em Diferentes Períodos</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.2 Características Do Entorno</b> .....	<b>41</b>
3.3 SELEÇÃO DO SOFTWARE E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	45
3.4 PARÂMETROS DAS SIMULAÇÕES .....	48
<b>3.4.1 Dias e Horários Das Simulações</b> .....	<b>49</b>
<b>3.4.2 Tipo De Céu</b> .....	<b>49</b>
<b>3.4.3 Plano de Trabalho</b> .....	<b>49</b>
<b>3.4.4 Refletâncias</b> .....	<b>50</b>
3.5 MÉTRICAS A SEREM AVALIADAS.....	51
<b>3.5.1 Iluminância Útil De Luz Natural (UDI)</b> .....	<b>51</b>
<b>3.5.2 Autonomia De Luz (DA)</b> .....	<b>52</b>
<b>3.5.3 Uniformidade</b> .....	<b>52</b>
<b>3.5.4 Ofuscamento</b> .....	<b>54</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>56</b>
4.1 DESEMPENHO LUMÍNICO EM MODELOS DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS EM DIFERENTES PERÍODOS .....	56
<b>4.1.1 Análise Da UDI e Da DA Dos Modelos</b> .....	<b>57</b>
<b>4.1.2 Análise Comparativa De UDI e de DA Entre Os Modelos</b> .....	<b>64</b>
<b>4.1.3 Uniformidade</b> .....	<b>69</b>
4.1.3.1 Uniformidade Através Da NBR 8995/13.....	69
4.1.3.2 Uniformidade Através Da Análise De DA .....	73
<b>4.1.4 Ofuscamento</b> .....	<b>76</b>
<b>4.1.5 Síntese Das Métricas Analisadas Para Os Modelos Representativos De Diferentes Períodos</b> .....	<b>86</b>

4.2 DESEMPENHO LUMÍNICO EM AMBIENTE INTERNO, CONSIDERANDO MODELOS QUE VARIAM NOS SEGUINTE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS: PERCENTUAL DE ABERTURA DA FACHADA (PAF), TIPO DE VIDRO E PRESENÇA OU NÃO DE BRISES .....	89
4.2.1 Análise da UDI e da DA dos modelos .....	90
4.2.2 Análise Comparativa De UDI e De DA Entre os Modelos .....	100
4.2.3 Uniformidade .....	103
4.2.3.1 Uniformidade Pelo Método Da NBR 8995/13 .....	104
4.2.3.2 Uniformidade Através Da Análise De DA .....	108
4.2.4 Ofuscamento .....	109
4.2.5 Síntese Das Métricas De Desempenho Lumínico Em Ambiente Interno, Considerando Modelos Que Variam Nos Seguintes Elementos Construtivos: Percentual De Abertura Da Fachada (PAF), Tipo De Vidro e Presença Ou Não De Sombreadores .....	117
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>120</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	124
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>125</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Edifício de escritório Seagram de Mies van der Rohe. ....	24
Figura 2- Modelos de escritórios: (a) Bullpen, (b) Panorâmico e (c) Planta livre.....	25
Figura 3- Modelos de escritórios territoriais: (a) aberto, (b) aberto/fechado e (c) planta baixa de modelo de escritório fechado.....	26
Figura 4- Modelos de escritórios não territoriais: (a) home office e (b) Hoteling. ....	27
Figura 5- Modelos de escritórios não territoriais: (a) free address e (b) Red Carpet Club.....	27
Figura 6- Edifício de escritórios localizado em São Paulo, desenvolvido pelos escritórios Pelli Architects e Gasperini arquitetura. (a) Fachada envidraçada, (b) planta baixa com bloco de serviço no centro. ....	28
Figura 7- Localização da cidade de Vitória – ES.....	37
Figura 8- Quatro modelos selecionados. ....	39
Figura 9- Edifício Modelo 4, com destaque para a sala de estudo localizada no 5º pavimento.....	40
Figura 10- (a) Implantação com entorno obstruído. (b) 3D com obstruções do entorno. ....	41
Figura 11- Cinco modelos de prédios utilizados nesta etapa.....	42
Figura 12- Corte dos modelos onde mostra todos os peitoris e PAF's (a). Carta solar da localização de Vitória, gerada pelo software Analysis SOL-AR, com máscara de sombreamento (b). ....	43
Figura 13- Fluxograma com as variações analisadas .....	44
Figura 14- Dados de saída do programa .....	47
Figura 15- Malha de pontos. ....	50
Figura 16- Área de trabalho e entorno imediato, com índices de uniformidade.....	53
Figura 17- Comparação da distribuição do percentual de DA (500 lux) no plano de trabalho das salas da fachada Norte e Sul dos 4 modelos representativos para o quinto pavimento sem entorno (a) e com entorno (b).....	66
Figura 18- Imagens renderizadas de todos os quatro modelos, orientadas para todas as quatro orientações, no período das 16 horas do mês de junho, com e sem a presença de entorno. ....	84
Figura 19- Imagens renderizadas de todos os quatro modelos, orientadas para todas as quatro orientações, no período das 8 horas, com e sem a presença de entorno. ....	85
Figura 20- Comparação da distribuição do percentual de DA (500 lux) no plano de trabalho das salas da fachada Norte, dos 5 modelos representativos para o quinto pavimento, sem brises e com brises, com os vidros simples (a), bronze (b) e reflexivo (c). ....	103

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Exemplo de Curva de decaimento da métrica DA em relação à profundidade da sala. ....	54
Gráfico 2- Dados da UDI e da DA dos 4 modelos, orientados para as 4 direções: (a) com entorno orientado para Norte, (b) sem entorno orientado para Norte, (c) com entorno orientado para Sul, (d) sem entorno orientado para Sul, (e) com entorno orientado para Leste, (f) sem entorno orientado para Leste, (g) com entorno orientado para Oeste, (h) sem entorno orientado para Oeste. ....	59
Gráfico 3- Informações de DA, sem entorno (a) e com entorno (b), para todos os modelos e orientações. ....	65
Gráfico 4- UDI entre 500 e 2000, sem entorno (a) e com entorno (b) obstruído. ....	68
Gráfico 5- Uniformidade sem entorno: (a) Norte, (b) Sul, (c) Leste e (d) Oeste. ....	70
Gráfico 6- Uniformidade com entorno: (a) Norte, (b) Sul, (c) Leste e (d) Oeste. ....	70
<b>Gráfico 7.</b> Curva de decaimento da métrica de Daylight Autonomy, para simulações sem entorno, dos quatro modelos orientados para (a) Norte, (b) Sul, (c) Leste e (d) Oeste. ....	74
Gráfico 8- Curva de decaimento da métrica de Daylight Autonomy, para simulações com entorno, dos quatro modelos orientados para (a) Norte, (b) Sul, (c) Leste e (d) Oeste. ....	74
Gráfico 9- Simulação de DGP para todos os quatro modelos orientados para Norte: (a) Modelo 1 com a presença de entorno, (b) Modelo 1 sem a presença de entorno, (c) Modelo 2 com a presença de entorno, (d) Modelo 2 sem a presença de entorno, (e) Modelo 3 com a presença de entorno, (f) Modelo 3 sem a presença de entorno, (g) Modelo 4 com a presença de entorno, (h) Modelo 4 sem a presença de entorno. ....	78
Gráfico 10- Simulação de DGP para todos os quatro modelos, orientados para Leste: (a) Modelo 1 com a presença de entorno, (b) Modelo 1 sem a presença de entorno, (c) Modelo 2 com a presença de entorno, (d) Modelo 2 sem a presença de entorno, (e) Modelo 3 com a presença de entorno, (f) Modelo 3 sem a presença de entorno, (g) Modelo 4 com a presença de entorno, (h) Modelo 4 sem a presença de entorno. ....	80
Gráfico 11- Simulação de DGP para todos os quatro modelos, orientados para Oeste: (a) Modelo 1 com a presença de entorno, (b) Modelo 1 sem a presença de entorno, (c) Modelo 2 com a presença de entorno, (d) Modelo 2 sem a presença de entorno, (e) Modelo 3 com a presença de entorno, (f) Modelo 3 sem a presença de entorno, (g) Modelo 4 com a presença de entorno, (h) Modelo 4 sem a presença de entorno. ....	82
Gráfico 12- Os quatro modelos, com e sem entorno, em uma média geral de todas as orientações. ....	87
Gráfico 13- Gráfico de UDI e DA para o Modelo 1A com vidro simples, bronze e reflexivo, orientado para Norte, (a) sem a presença de brises e (b) com a presença de brises, para os pavimentos 1º, 5º e 10º. ....	91
Gráfico 14.- Gráfico de UDI e de DA para o Modelo 2A com vidro simples, bronze e reflexivo, orientado para Norte, (a) sem a presença de brises e (b) com a presença de brises, para os pavimentos 1º, 5º e 10º. ....	93
Gráfico 15- Gráfico de UDI e de DA para o Modelo 3A com vidro simples, bronze e reflexivo, orientado para Norte, (a) sem a presença de brises e (b) com a presença de brises, para os pavimentos 1º, 5º e 10º. ....	95
Gráfico 16- Gráfico de UDI e DA para o Modelo 4A com vidro simples, bronze e reflexivo, orientado para Norte, (a) sem a presença de brises e (b) com a presença de brises, para os pavimentos 1º, 5º e 10º. ....	96

Gráfico 17- Gráfico de UDI e de DA para o Modelo 5A com vidro simples, bronze e reflexivo, orientado para Norte, (a) sem a presença de brises e (b) com a presença de brises, para os pavimentos 1º, 5º e 10º. ....	98
Gráfico 18- Informações de DA, sem brises (a) e com brises (b), para todos os modelos e vidros. ....	100
Gráfico 19- Informações de UDI entre 500 e 2000, sem brises (a) e com brises (b), para todos os modelos e vidros. ....	102
Gráfico 20- Uniformidade com entorno para a orientação Norte: (a) vidro simples com brises, (b) vidro simples sem brises, (c) vidro bronze com brises, (d) vidro bronze sem brises, (e) vidro reflexivo com brises, (f) vidro reflexivo sem brises. ....	106
Gráfico 21- Uniformidade da métrica de DA no interior da sala orientado para Norte: (a) modelos com vidro simples e com a presença de brises, (b) modelos com vidro simples e sem a presença de brises, (c) modelos com vidro bronze e com a presença de brises, (d) modelos com vidro bronze e sem a presença de brises, (e) modelos com vidro reflexivo e com a presença de brises, (f) modelos com vidro reflexivos e sem a presença de brises. ....	108
Gráfico 22- Simulação de DGP para todos os cinco modelos orientados para Norte, com vidro simples: (a) Modelo 1A sem a presença de brises, (b) Modelo 1A com a presença de brises, (c) Modelo 2A sem a presença de brises, (d) Modelo 2A com a presença de brises, (e) Modelo 3A sem a presença de brises, (f) Modelo 3A com a presença de brises, (g) Modelo 4A sem a presença de brises, (h) Modelo 4A com a presença de brises, (i) Modelo 5A sem a presença de brises, (j) Modelo 5A com a presença de brises. Todos os gráficos são para o 10º pavimento. ....	112
Gráfico 23- Simulação de DGP para todos os cinco modelos orientados para Norte, com vidro bronze: (a) Modelo 1A sem a presença de brises, (b) Modelo 1A com a presença de brises, (c) Modelo 2A sem a presença de brises, (d) Modelo 2A com a presença de brises, (e) Modelo 3A sem a presença de brises, (f) Modelo 3A com a presença de brises, (g) Modelo 4A sem a presença de brises, (h) Modelo 4A com a presença de brises, (i) Modelo 5A sem a presença de brises, (j) Modelo 5A com a presença de brises. Todos os gráficos são para o 10º pavimento. ....	114
Gráfico 24- Simulação de DGP para todos os cinco modelos orientados para Norte, com vidro reflexivo: (a) Modelo 1A sem a presença de brises, (b) Modelo 1A com a presença de brises, (c) Modelo 2A sem a presença de brises, (d) Modelo 2A com a presença de brises, (e) Modelo 3A sem a presença de brises, (f) Modelo 3A com a presença de brises, (g) Modelo 4A sem a presença de brises, (h) Modelo 4A com a presença de brises, (i) Modelo 5A sem a presença de brises, (j) Modelo 5A com a presença de brises. Todos os gráficos são para o 10º pavimento. ....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Iluminância de escritórios.....	33
Tabela 2- Iluminância mínima determinada pela NBR ISO/CIE 8995-1 para escritórios.....	52
Tabela 3- Comparação das quatro orientações, com a métrica de DA e de Uniformidade.....	72
Tabela 4- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Sul, para os quatro modelos estudados e para o cenário de com e sem obstrução.....	77
Tabela 5- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Norte, para os quatro modelos estudados e para o cenário de com e sem obstrução.....	77
Tabela 6- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Leste, para os quatro modelos estudados e para o cenário de com e sem obstrução.....	79
Tabela 7- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Oeste, para os quatro modelos estudados e para o cenário de com e sem obstrução.....	83
Tabela 8- Modelos com melhores valores ideais para cada métrica estudada, quando orientados para Norte e para Sul, tanto com e sem a presença de entorno obstruído.....	88
Tabela 9- Modelos com melhores valores ideais para cada métrica estudada, quando orientados para Leste e para Oeste, tanto com e sem a presença de entorno obstruído.....	89
Tabela 10- Média percentual de uniformidade para todos os 5 modelos, com e sem a presença de brises.....	107
Tabela 11- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Norte, para os cinco modelos estudados e para o cenário de com e sem brises. Simulações feitas com vidro simples.....	110
Tabela 12- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Norte, para os cinco modelos estudados e para o cenário de com e sem brises. Simulações feitas com vidro bronze.....	113
Tabela 13- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Norte, para os cinco modelos estudados e para o cenário de com e sem brises. Simulações feitas com vidro reflexivo.....	116
Tabela 14- Resultados de todas as métricas estudadas para as simulações dos cinco modelos, com e sem a presença de brises, em função dos pavimentos simulados.....	118

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
DA - Daylight Autonomy  
DF - Daylight Factor  
DGP - Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural  
FLD - Fator de Luz Diurna  
LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações  
NBR - Norma Técnica Brasileira  
PAF - Percentual de Abertura de Fachada  
SP - Sem Prateleira  
TRY - Test Reference Year  
TL - Transmissão à luz visível  
UDI - Useful Daylight Illuminance  
UGRL - Índice Limite de Ofuscamento Unificado  
VS - Vidro Simples  
VB - Vidro Bronze  
VR - Vidro Reflexivo

## RESUMO

CARPANEDO, Felipe Almeida, M.Sc. Universidade de Vila-Velha – ES, Fevereiro de 2020. **Desempenho da luz natural: avaliação em modelos representativos de edifícios de escritórios em Vitória – ES.** Orientadora: Érica Coelho Pagel. Co-orientador: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos.

O desempenho da luz natural nos ambientes de trabalho é de fundamental importância para o bem-estar e para a saúde do usuário. Dessa forma, a investigação do desempenho lumínico no interior desses espaços, relacionada às transformações das aberturas das fachadas ao longo do tempo, é necessária. Esta pesquisa objetivou analisar o desempenho da luz natural em modelos de edifícios verticais de escritórios em Vitória, no estado do Espírito Santo. As análises foram feitas em uma sala de trabalho padrão, considerando três alturas distintas de pavimentos (1°, 5° e 10°), e as avaliações foram divididas em duas partes: a) modelos representativos de edifícios de três períodos: do ano de 1950 a 1979, de 1980 a 1999 e de 2000 a 2016, com e sem entorno, baseados em modelos previamente descritos na literatura existente; e b) modelos representativos de edifícios, variando nos seguintes elementos construtivos: Percentual de Abertura de Fachada (PAF), transmissão luminosa do vidro (TL), presença ou não de elemento sombreador e a existência de entorno. A metodologia utilizada foram simulações computacionais através do Software DIVA e comparação com os índices adequados de desempenho luminoso estabelecidos para as métricas de UDI – *Useful Daylight Illuminance*, DA - *Daylight Autonomy*, Uniformidade e Ofuscamento. Os resultados analisados na primeira parte mostraram que o Modelo 1 (1950 a 1979) apresentou o maior percentual de UDI desejável, sem o auxílio de iluminação artificial; porém, com o entorno, este modelo apresentou o maior percentual de UDI insuficiente. Nenhum dos modelos estudados atingiu o mínimo recomendado para o parâmetro de uniformidade, sendo os maiores índices registrados nas simulações com a fachada principal orientada a Sul. Em relação ao ofuscamento, os maiores percentuais de horas simuladas dentro da faixa intolerável são registrados no 10° pavimento e nas simulações com orientação de fachada a Oeste, sendo os Modelos 1 e 4 os mais afetados. Na segunda etapa, os valores de UDI útil são superiores sem o uso de brises; entretanto, observa-se também os maiores valores de UDI excessiva sem esse dispositivo. Por outro lado, a utilização de sombreadores impacta na distribuição da luz ao longo do recinto e na redução significativa do ofuscamento, sendo, portanto, de fundamental importância em edificações localizadas nos trópicos. De forma geral, a presença do entorno impactou mais o desempenho dos edifícios contemporâneos, assim como mostrou significativo o cuidado que se deve ter na especificação da TL dos vidros associada ao seu PAF.

**PALAVRAS-CHAVE:** Luz natural. Simulação. Edifícios de escritórios.

## ABSTRACT

CARPANEDO, Felipe Almeida, M.Sc. , University of Vila Velha-ES, February 2020. **Performance of Natural Light: Evaluation on Representative Models of Office Buildings in Vitória - ES.** Advisor: Érica Coelho Pagel. Co-advisor: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos.

The effect / performance of natural light in work environments is essential for the health and well-being of the user. Therefore the investigation into the luminous performance of the interior of these spaces related to the transformation from opening the facades along the time becomes necessary. This research aims at analysing the way natural light performs in vertical office building models in the City of Vitoria, Espirito Santo State. the analysis were conducted in a standard office room, considering three distinct pavement heights (first, fifth and tenth) and evaluations were split in, a) re[representative models of buildings from three historic periods: from the year 1950 to 1979, from 1980 to 1999 and from 2000 to 2016, with or without surrounding structures based on models previously described in existing literature, and B) representative models of buildings varying in different elements of construction.- Percentage of Facade Opening (PAF), luminous transmittance of glass (TL), the presence of a shadowy element and present pf surrounding structures. The methodology applied were computational simulations through DIVA software and comparisons with appropriate luminous performance indexes from UDI metrics - Useful Daylight Illuminance, DA - Daylight autonomy, Uniformity and blinding. The results analysed in the first part show that Model 1 (1950 to 1979) showed the greatest percentage of desired UDI without the aid of artificial lighting however with surrounding structure this model showed the greatest percentage of insufficient UDI. Neither models studied reached the minimum recommended for uniformity parameter, having the greatest indexes registered in the simulation the facades facing south. Regarding blinding, the greatest percentages of hours simulated within a tolerable range are registered in the tenth pavement and in the simulations having the facade facing west where models 1 and 4 were the most affected. In the second stage, the useful UDI values are superior without the use of Brise-soleil however note the biggest values of excessive UDI without this device. On the other hand, the use of shaders impact on light distribution and significant reduction of blinding up to 100% thus having essential importance in buildings located in the tropics. In general the presence of surrounding structures impacted more the performance of contemporary buildings and it is clear how careful the specification of TL should be in glasses related to their PAF.

**KEY-WORDS:** Natural light. Computational simulations. Luminous performance.

## 1 INTRODUÇÃO

A luz natural é um recurso sustentável e, quando bem utilizada, proporciona economia de energia e conforto visual. Sendo assim, o adequado conforto lumínico em ambientes de trabalho, além de promover visuais prazerosos do entorno, influencia na produtividade, no bem-estar e, por consequência, na saúde do trabalhador (BARBOSA, 2010). A qualidade e quantidade de luz que entra na edificação depende tanto de fatores externos, como a luz refletida a partir da rua e das fachadas das construções do entorno, quanto de fatores internos, tais como as cores das superfícies internas, o formato das salas e as características construtivas das aberturas.

Os primeiros edifícios específicos para escritórios utilizavam, como técnica construtiva, paredes de alvenaria, o que resultava em edificações de pequeno porte, divididas por pequenas salas com janelas geralmente em uma das faces. Somente em 1860, a partir do surgimento de pilares com armadura de ferro e das vigas metálicas, seguidos pelo aço estrutural, é que mudanças significativas foram introduzidas na forma e no uso desses edifícios, dentre elas a utilização de maiores vãos nas fachadas, o que por sua vez permitia explorar um maior percentual de abertura.

A exploração desses grandes vãos passa pelo século XX, primeiramente caracterizado por um edifício de escritórios com espaço aberto único e janelas moduladas uniformemente similares, tornando a iluminação natural mais presente, e evoluindo, posteriormente, para uma abertura total da fachada, através das conhecidas peles de vidro (ANDRADE, 2007).

Se por um lado esse modelo de fachada envidraçada pode proporcionar níveis mais altos de iluminação natural e melhor vista para o exterior, por outro se faz presente a preocupação com a radiação solar incidente diretamente sobre as superfícies de modo que ela seja admitida de forma adequada e distribuída conscientemente, principalmente em climas tropicais quente (ALBUQUERQUE; AMORIM, 2012).

Uma das maneiras de admitir e trabalhar a iluminação natural nesses climas é controlá-la de forma que os efeitos negativos não sejam desenvolvidos, como o excesso de calor e o ofuscamento pelo desconforto visual em seu interior, ocasionados pelos níveis elevados de luminosidade ou por contrastes intensos. Para

tanto, o projetista deve utilizar recursos arquitetônicos que possibilitem receber a luz de forma indireta ou filtrada, refletida ou bloqueada parcialmente (CORBELA; CASTANHEIRA, 2001, BERARDI; ANARAKI, 2015). Entretanto, mesmo com tais advertências, cresce o número de edifícios com alto percentual de abertura de fachada nas cidades brasileiras, sendo a maior parte sem nenhum elemento de proteção solar (MAIOLI *et al.*, 2018).

Fossati; Lamberts (2010) chamam a atenção para a utilização de fachadas envidraçadas e para o grande percentual de abertura utilizado em toda a envoltória da construção. Os autores relatam que quanto maior forem os elementos sombreadores na fachada, melhor será o nível de eficiência energética atingido; entretanto, observa-se que essa estratégia é pouco explorada. O excesso de luz natural nesses espaços resulta em desconforto lumínico ao usuário, principalmente devido ao ofuscamento nas áreas de trabalho, o que faz com que sejam utilizadas persianas nas aberturas, durante a maior parte do dia, como medida paliativa para solucionar o problema.

Pode-se perceber então que pouca importância se tem dado se de fato as especificações das características construtivas das aberturas nas edificações planejadas proporcionam uma adequada qualidade lumínica ao espaço, sendo, portanto, na maior parte das vezes, a questão determinada por fatores estéticos.

Nesse sentido, o avanço da construção civil e da tecnologia permitiu que novos materiais fossem introduzidos no mercado, fazendo com que o Percentual de Abertura da Fachada (PAF) aumentasse, independente do clima no qual a edificação estava sendo inserida. Por outro lado, com o intuito de amenizar parte dos ganhos energéticos obtidos por essas fachadas envidraçadas, novos elementos translúcidos, em geral representados pelos vidros, foram perdendo propriedades de transmissão luminosa e ganhando maior capacidade de reflexão e absorção da energia solar incidente.

O tipo de vidro controla a quantidade de luz natural que penetra para o interior do ambiente através do seu fator de Transmitância de Luz Visível (TL). Alguns estudos mostram que, entre a década de 60 e 70 do século passado, o vidro simples (VS) incolor (TL em torno de 0,88), que permitia uma alta transmitância luminosa, mas também possibilitava a passagem de uma alta taxa de radiação solar para dentro do edifício, foi largamente utilizado na concepção das janelas dos edifícios de escritório.

Posteriormente, nos anos 80 e início dos anos 90, o vidro bronze (VB) (TL entre 0,23 e 0,51), que absorvia uma considerável quantidade do infravermelho com alguma redução da transmitância luminosa, foi o principal tipo empregado nas construções.

No final dos anos 80 e 90, a predominância foi pelas cortinas envidraçadas, utilizando vidro reflexivo (VR) (TL em torno de 0,12), que absorvia mais calor do que o vidro colorido e oferecia uma boa refletância da radiação na região do infravermelho, porém com redução da transmitância visível (LI; TSANG, 2008).

Nas décadas seguintes, o envelopamento dos edifícios continuou envidraçado com algumas diferenças apenas nas formas de instalar as lâminas de vidro, passando pelas fases da pele de vidro, *structural glazing*, chegando aos módulos unitizados e à fachada suspensa.

O vidro Low-E, que é composto por uma fina camada de óxido de metal reduzindo substancialmente o ganho de calor sem reduzir proporcionalmente a transmitância da luz do dia, trata-se de uma tendência na atualidade; contudo, o custo ainda é elevado, o que não estimula a inserção desse produto no mercado brasileiro da construção civil. Muitas vezes, mesmo escolhido pelos arquitetos, tal vidro é substituído na hora da execução do projeto para economia da obra (MICHELATO, 2007).

Entre os métodos de maior potencial para a análise do fenômeno da iluminação natural encontra-se a simulação computacional, que vem sendo uma metodologia adotada por muitos autores na avaliação do desempenho da luz natural em edifícios de escritórios, podendo-se citar no Brasil os estudos de Albuquerque e Amorim (2007), Maioli (2014), Laranja *et al.* (2016) e Fassina (2017).

Existem dois tipos de simulação computacional: estática e dinâmica. A primeira faz as análises para determinado dia e hora, ao contrário da segunda, que analisa o ano inteiro e no intervalo de hora estipulado. Essa diferença de tipo de simulação é importante quando se observam os resultados, pois simulações dinâmicas apresentam uma maior gama de resultados ao possibilitar a análise de mais variáveis.

A maior parte dos pesquisadores utilizam como métricas de avaliação a Iluminância Natural Útil (*Useful Daylight Illuminances* - UDI) e a Autonomia de Luz Natural (*Daylight Autonomy* - DA), que possuem valores mínimos estipulados pela NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação em Ambientes de trabalho (ABNT, 2013).

O conceito de UDI foi desenvolvido por Nabil; Mardaljevic (2006) e é baseado em um valor percentual das horas simuladas nas quais as iluminâncias permanecem dentro do intervalo considerado útil para serem aproveitadas como fonte de luz. Essa métrica, juntamente com a DA, são as mais utilizadas e difundidas.

As métricas de uniformidade e ofuscamento também são amplamente estudadas quando se analisa o conforto do usuário em relação à iluminação natural, como nas pesquisas de Pereira (2017) e Ribeiro; Cabús (2019). O excesso ou a falta de níveis adequados de uniformidade e de ofuscamento podem causar desconforto e desperdício de consumo energético.

Os parâmetros de uniformidade são estabelecidos pela NBR 8995/2013. Já para o ofuscamento, segundo Jakubiec; Reinhart (2012), o Daylight Glare Probability (DGP) se apresentou com mais eficiência, em estudos realizados para avaliação de ofuscamento em ambientes com iluminação natural.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR ISO/CIE 8995-1, cita que a prática de uma boa iluminação nos locais de trabalho consiste na execução das tarefas de maneira fácil e com conforto, satisfazendo os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos pelo ambiente. Assim, nos estudos sobre iluminação em edifícios de escritórios, essa norma direciona os intervalos de valores aceitáveis para as métricas estipuladas e formas de avaliação da iluminação.

Outro fator de importância ao acesso à iluminação natural está diretamente ligado à exposição do edifício à maior parcela visível da abóboda celeste, situação que muitas vezes está relacionada à presença ou não de obstrução do entorno. Essa condição de exposição pode interferir na necessidade de um maior ou menor uso de energia elétrica pelos usuários que utilizam a edificação, seja para o condicionamento de ar, quanto para iluminação artificial, pois quanto mais exposto o prédio, maior a troca de calor e maior a permeabilidade de iluminação (SILVESTRE; PEREIRA, 2014).

Partindo das informações apresentadas, o presente trabalho pretende analisar o desempenho da luz natural no interior de edifícios verticais de escritórios em Vitória, no estado do Espírito Santo, através de simulações computacionais. Com esse propósito, serão avaliados modelos representativos da evolução dos edifícios de diferentes períodos, na cidade em estudo, e modelos que variam elementos construtivos, como: Percentual de Abertura da Fachada, tipo de vidro e presença ou

não de sombreador externo à fachada. Assim, este estudo pretende proporcionar o entendimento do aproveitamento da luz natural ao longo do tempo, no que se refere aos edifícios de escritórios, e o impacto dos sistemas avaliados na qualidade lumínica do espaço.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é analisar o desempenho da luz natural no interior de edifícios verticais de escritórios na cidade de Vitória, localizada no estado do Espírito Santo, através de simulações computacionais.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver modelos representativos de edifícios verticais de escritórios na cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo, contemplando diferentes períodos e tendo por base a literatura existente;
- Investigar o desempenho da luz natural no interior de salas de trabalho em quatro modelos representativos de diferentes períodos de tempo, considerando três alturas diferentes de pavimento, quatro orientações de fachada principal e ausência ou não de entorno obstruído;
- Investigar o desempenho da luz natural no interior de salas de trabalho em cinco modelos gerados a partir dos edifícios representativos de diferentes períodos e variando sistemas construtivos de impacto no conforto lumínico, como: Percentual de Abertura de Fachada (PAF), Transmissão Luminosa do Vidro (TL), presença ou não de elemento sombreador e entorno construído.

## 1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Para construção dos modelos representativos de edifícios comerciais verticais na cidade de Vitória - ES, utilizou-se como base a pesquisa de Maioli *et al.* (2018), que estudou as transformações construtivas dessas edificações no município. Foram catalogadas 80 edificações, representando a maior parte dos edifícios de escritórios verticais acima de quatro pavimentos encontrados na cidade, os quais foram divididos em três períodos de tempo: dos anos de 1950 a 1970; 1980 a 1990; 2000 a 2016.

Os autores relataram, através de levantamentos *in loco* das características edificadas, que há predominância entre os modelos quanto à forma retangular, destacando a tipologia entre 11 e 12 pavimentos. Outro registro feito refere-se ao tipo de vidro utilizado, que passou de incolor, no primeiro período de 1950 a 1970, para fumê/bronze até chegar ao reflexivo, na atualidade.

Em todos os períodos analisados, percebeu-se que a maioria das construções não apresenta proteção solar em suas fachadas, sendo que esse elemento poderia reduzir os ganhos térmicos, melhorar as condições de conforto visual dos ambientes internos e aumentar a eficiência energética da edificação. Nos três períodos, o uso de materiais com cores claras ou médias foi dominante nas fachadas. Nota-se, ainda, um crescimento gradual da área das aberturas nas fachadas dos edifícios analisados; sendo observado, em alguns casos, que a cobertura de vidro vai de laje a laje, contando apenas com um pequeno elemento em sua base para proteção mecânica (MAIOLI *et al.*, 2018).

Os autores afirmam ainda que, no período mais recente, é possível perceber uma grande representatividade de edifícios com PAF entre 30 e 40% e entre 90 e 100%, o que levou à definição de dois modelos para o período entre 2000 e 2016.

O Quadro 1 apresenta essa caracterização dos modelos representativos de cada período, baseados nos resultados de Maioli *et al.* (2018).

Quadro 1- Caracterização dos modelos representativos de cada período.

Características	1950 a 1979	1980 a 1999	2000 a 2016	2000 a 2016
Nº de pavimentos	11	11	12	12
Forma	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Cobertura	Telhado embutido	Telhado embutido	Laje impermeabilizada	Laje impermeabilizada
PAF	30,1% a 40%	40,1% a 50%	30,1% a 40%	90,1% a 100%
Sistema de Abertura	Janela de correr	Maxim-ar	Maxim-ar	Maxim-ar
Tipo de vidro	Incolor	Fumê/Bronze	Reflexivo	Reflexivo
Elemento de proteção	Não possui	Não possui	Não possui	Não possui
Cor da Fachada	Bege e Cinza	Bege e Cinza	Azul e Branco	Azul e Branco
Revestimento de fachada	Pintura	Pastilha e Vidro	Vidro e ACM	Vidro e ACM
Fotos dos edifícios representativos				
Nome e local do Edifício	Edifício A Gazeta, bairro Centro.	Edifício Praia Office, bairro Praia do Canto.	Edifício Petro Tower, bairro Enseada do Suá.	Edifício Affinity Work, bairro Enseada do Suá.

Fonte: Adaptado MAIOLI *et al.* (2018).

Percebe-se que, de uma forma geral, os edifícios de escritórios construídos atualmente na cidade de Vitória não levam em consideração os aspectos climáticos para a busca de soluções projetuais eficientes, sendo perceptível que esse fato também é recorrente em outras regiões do território brasileiro. É marcante no levantamento feito pelos pesquisadores a falta do uso de brises ou outros elementos de proteção solar nas edificações.

Logo, analisar o desempenho da iluminação natural no interior dos edifícios verticais de escritórios e entender a influência das diferentes tipologias de aberturas de janelas ao longo do tempo pode contribuir no direcionamento de estratégias para

melhorar a qualidade da luz nesses espaços, minimizar possíveis gastos com consumo energético e trazer maior conforto visual ao usuário.

A influência da arquitetura de outros países, principalmente com a cultura das fachadas envidraçadas sem proteção, direciona os projetos construídos no Brasil para modelos que não condizem com as melhores soluções para a realidade climática do país.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os assuntos relevantes para a construção do embasamento teórico desta pesquisa; apresentando-se, inicialmente, um breve contexto do desenvolvimento construtivo dos edifícios de escritórios, para, posteriormente, mostrar a influência da iluminação natural nos ambientes e as métricas utilizadas para avaliação do conforto visual.

### 2.1 DESENVOLVIMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DOS EDIFÍCIOS COMERCIAIS

De acordo com Andrade (2007), nos anos de 1800, iniciou-se o processo de imigração da mão de obra do campo para a cidade, devido ao crescente desenvolvimento econômico, resultado da Revolução Industrial. Nesse período, as pessoas deixavam suas terras, trabalhos, e seguiam para a cidade em busca de emprego na indústria e em escritórios.

Esse processo culminou na valorização das terras, fazendo com que os proprietários subdividissem grandes lotes em pequenos, adensando os centros da cidade. Para tirar o máximo de proveito dos lotes, agora menores, juntamente com as novas tecnologias construtivas que surgiam, grandes edifícios começaram a ser construídos, atendendo assim a uma maior demanda de pessoas e empresas que buscavam no centro das cidades locais de trabalho.

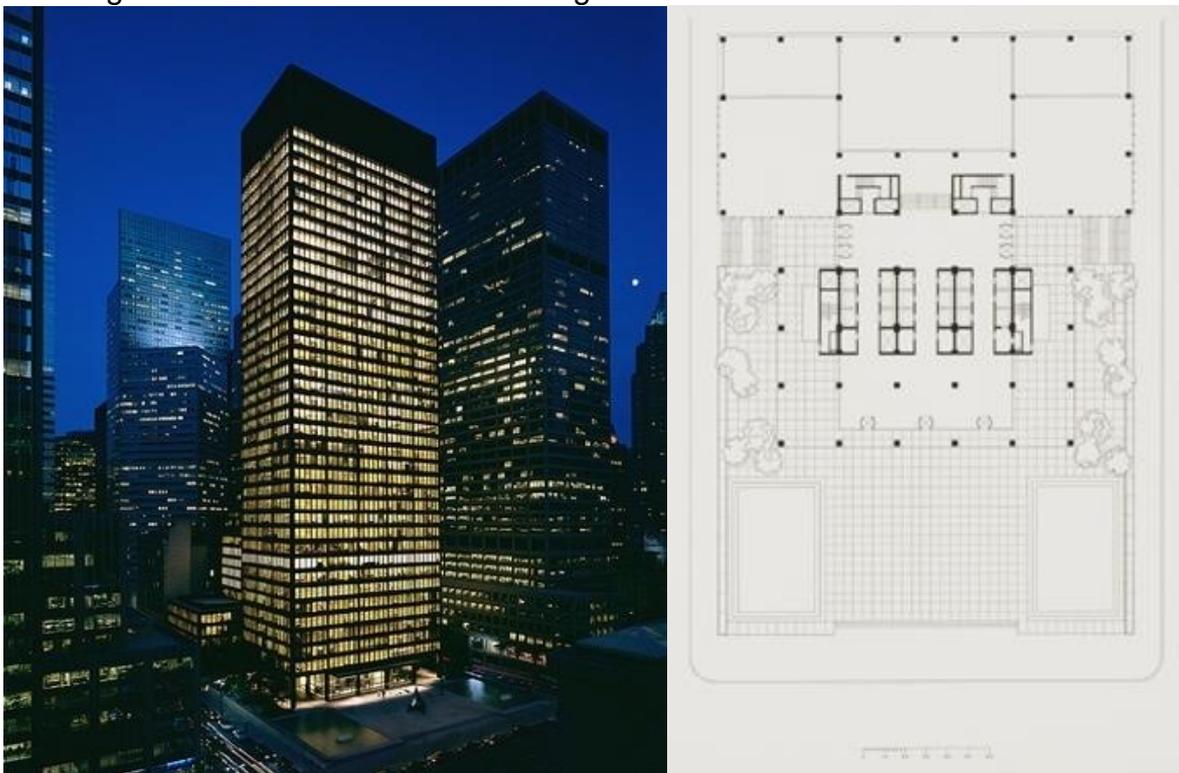
A partir de então, empresas começaram a investir na organização espacial dos edifícios de escritórios, para que seus funcionários pudessem produzir mais e melhor (HORSCHUTZ, 2007). De acordo com Boyce (2014), nos últimos anos, os escritórios passaram a abrigar durante mais tempo os seus colaboradores, resultando na preocupação com a qualidade dos espaços. O edifício *Seagram de Mies van der Rohe* é um exemplo de edifício que se preocupou com seus espaços de trabalho, assim como com a fachada (Figura 1).

Segundo Zambrano *et al.* (2017), no período pós-industrial inicia-se o processo de verticalização das edificações no Brasil, impulsionado pelas atividades do capital financeiro internacional. Com esse crescimento, várias empresas internacionais foram

atraídas para o país, tornando acirrada a disputa pelos melhores espaços no centro das cidades, de forma que prédios imponentes foram construídos para mostrar esse poder.

Com a vinda de empresas internacionais, características da arquitetura de outros países começam a se tornar visíveis nos edifícios brasileiros. Assim, o concreto armado e os vidros nas fachadas viabilizaram grandes espaços abertos e se tornam cada vez mais comuns nas construções (HORMAIN, 2012).

Figura 1- Edifício de escritório Seagram de Mies van der Rohe.



Fonte: HOLANDA, 2012.

De acordo com Andrade (2007), com a influência da arquitetura de outros países, os conceitos de *layout* de escritórios foram surgindo, e os mais difundidos foram: Conceito Bullpen, Escritório Panorâmico, Escritório de Planta Livre, Escritórios Territoriais e Escritórios Não Territoriais (Quadro 2).

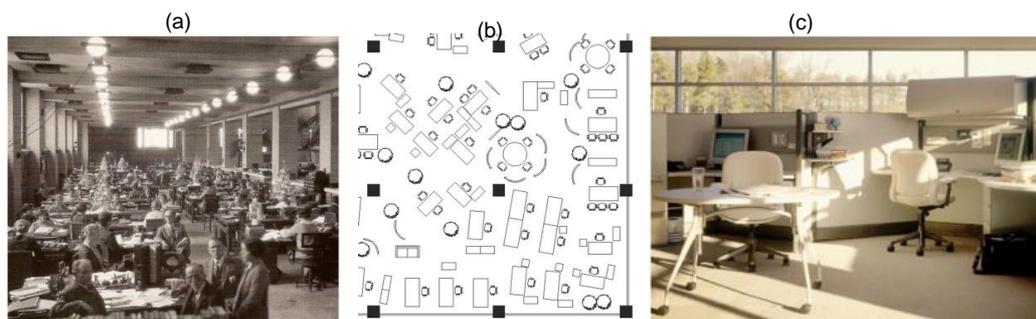
Quadro 1- Resumo conceito de layout de escritórios.

Modelo de <i>layout</i> dos pavimentos						
Modelos	Bullpen	Panorâmico	Planta Livre	Territoriais		
Características	<i>Layout</i> de acordo com atividades exercidas	<i>Layout</i> sem barreiras visuais; <i>layout</i> de acordo com o fluxo dos funcionários	Prático e dinâmico; sistema modular; individualização da estação de trabalho	Aberto	Aberto/ fechado	Fechado
Período	Início da década de 50	Meados da década de 50	Década de 60	Evolução da planta livre; inexistência de fechamento	<i>Layout</i> conforme hierarquia; algumas salas fechadas, outras abertas	Divisão através de paredes ou divisórias
Referência	ROMANO, 2003; ANDRADE, 2007.	ANDRADE, 2007.	SADER, 2007.	ANDRADE, 2007.	SADER, 2007.	SADER, 2007; ANDRADE, 2007.

Fonte: Adaptado de Andrade (2007) e Sader (2007).

Percebe-se que a disposição das plantas baixas evoluiu para um pavimento aberto, sem grandes barreiras físicas, como divisórias opacas, paredes, dentre outros elementos obstruidores (Figura 2).

Figura 2- Modelos de escritórios: (a) Bullpen, (b) Panorâmico e (c) Planta livre.



Fonte: EARLY OFFICE MUSEUM, 2016.

Os modelos de layouts representados pelas Figuras 2 e 3 mostram a evolução dos espaços, assim como as características espaciais. As imagens mostram plantas com a disposição dos mobiliários.

Figura 3- Modelos de escritórios territoriais: (a) aberto, (b) aberto/fechado e (c) planta baixa de modelo de escritório fechado



Fonte: cityofsound.com.br; 2020.

Além dos modelos de escritórios citados anteriormente, os não territoriais também se destacam, pois surgem com o avanço tecnológico dos anos 80 do século passado, como *internet* e aparelhos telefônicos, possibilitando que os profissionais possam realizar as atividades em diversos locais. Assim, com essa nova demanda, surgem novos conceitos relacionados à ocupação do espaço: são escritórios que não necessariamente ficam localizados no mesmo espaço físico que a sede da empresa (SANTOS, 2007).

No Quadro 03 a seguir são apresentados quatro modelos de escritórios não territoriais, citados por Santos (2007), exemplificando, respectivamente: o *Home Office*, o *Hoteling*, o *free Address*, e o *Red Carpet Club*.

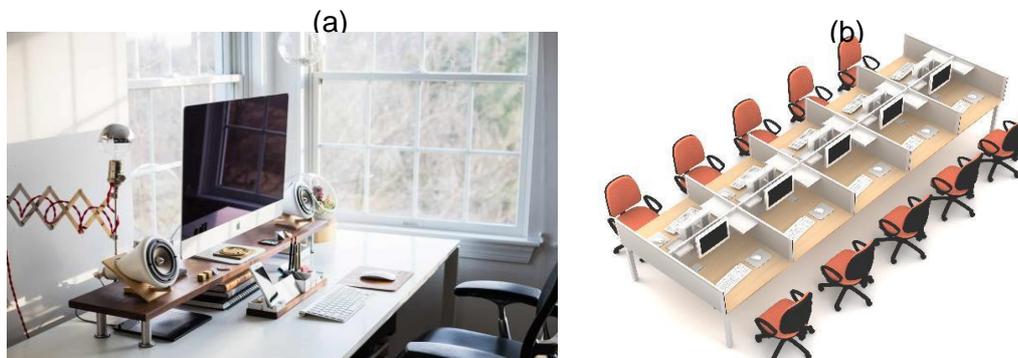
Quadro 2- Modelos de escritórios não territoriais.

Modelos de escritórios não territoriais				
Modelos	<i>Home Office</i>	<i>Hoteling</i>	<i>Free Address</i>	<i>Red Carpet Club</i>
Características	Espaço de trabalho dentro da residência do trabalhador.	É um método de gerenciamento de escritório no qual os funcionários agendam dinamicamente o uso de espaços de trabalho, como mesas, cubículos e escritórios. É uma abordagem alternativa ao método mais tradicional de assentos permanentemente atribuídos	Áreas com grande concentração de estações de trabalho, para uso eventual. As baias de trabalho não possuem usuário definido.	Um conceito do <i>Hoteling</i> com o <i>Free Address</i> , conjugados a uma área de convívio social.

Fonte: Adaptado de Santos (2007).

Nas Figuras 4 e 5 são representados espaços de trabalho onde o local em que as estações estão posicionadas são características marcantes para esses modelos.

Figura 4- Modelos de escritórios não territoriais: (a) home office e (b) Hoteling.



Fonte: NEUMAN, 2012.

Figura 5- Modelos de escritórios não territoriais: (a) free address e (b) Red Carpet Club.

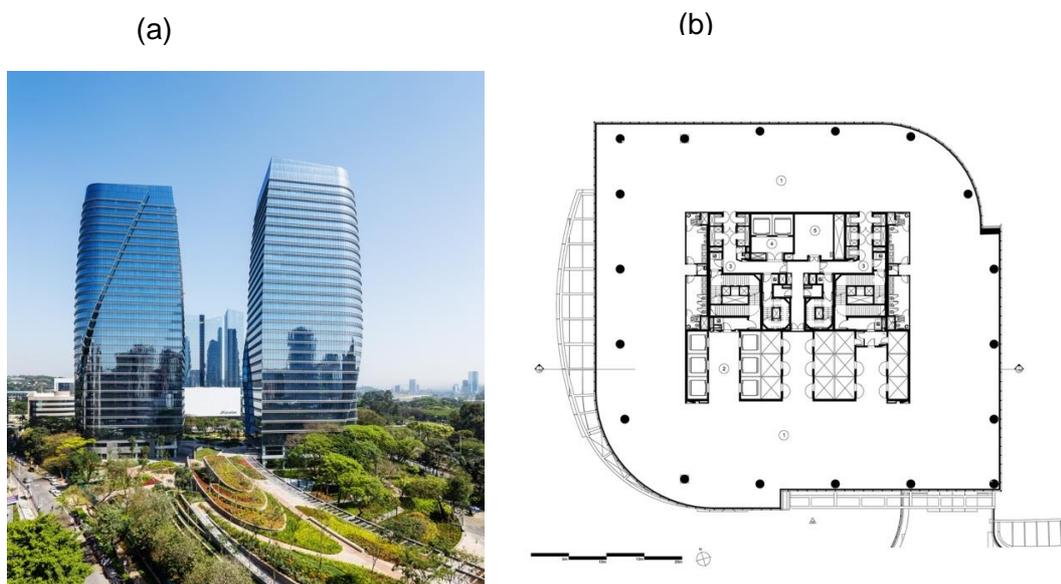


Fonte: TURNER, 2017.

Com a influência da arquitetura estrangeira, a construção de edifícios de escritórios com plantas livres foi sendo bastante difundida em grandes cidades como São Paulo e Rio de Janeiro. A grande maioria desses edifícios apresenta a planta livre, com o bloco de serviço localizado no centro dos pavimentos e a fachada envidraçada em todas as orientações (SANTOS, 2007).

A Figura 6 demonstra um edifício de escritórios localizado em São Paulo, cujo pavimento possui no centro um bloco de serviços e a fachada envidraçada.

Figura 6- Edifício de escritórios localizado em São Paulo, desenvolvido pelos escritórios Pelli Architects e Gasperini arquitetura. (a) Fachada envidraçada, (b) planta baixa com bloco de serviço no centro.



Fonte: ARCHIDAILY,2016.

O grande uso de vidro nas fachadas é atualmente uma prática comum nos grandes centros urbanos. Edifícios altos e fachadas envidraçadas tornaram-se símbolo de *status* para aquelas empresas que constroem e para aqueles que ali frequentam (SANTOS, 2007).

O controle da radiação solar é feito, em grande maioria, através do uso de vidros especiais que diminuem o coeficiente de ganho de calor solar e, conseqüentemente, diminuem a transmissão térmica. Porém, vidros com menor ganho de calor têm como característica a menor transmissão luminosa, reduzindo assim a quantidade de iluminação natural no interior dos edifícios.

Garcia e Pereira (2018) reforçam que, atualmente, edifícios comerciais apresentam grandes Percentuais de Abertura na Fachada (PAF) e estão presentes em todo o contexto brasileiro. Nesse sentido, a falta de um tratamento adequado das fachadas, levando em consideração a grande quantidade de iluminação, pode influenciar negativamente no consumo energético de luminosidade do ambiente interno, sendo necessário um maior aprofundamento sobre o tema.

## 2.2 LUZ NATURAL NAS EDIFICAÇÕES

A luz transforma-se em um material em que o arquiteto pode definir espaços, destacar volumes, criar atmosferas e transmitir mensagens. É necessário considerar detalhes da estrutura, características do edifício, entre outros fatores, para que a função desejada da iluminação possa desempenhar seu papel adequadamente (LIMA, 2010).

Com o desenvolvimento econômico do século passado, os edifícios, escolas, hospitais e fábricas foram se desenvolvendo para novas tipologias, e a principal mudança foi o aumento de pessoas que necessitavam desenvolver tarefas visuais, simultaneamente, em um mesmo local, o que não ocorria anteriormente. Assim, no âmbito da iluminação, teve-se que atender a cada vez mais exigências de qualidade e quantidade de luz, tanto em escritórios, como nas ruas e em todos os lugares da cidade onde a iluminação começava a se tornar elemento necessário para o desenvolvimento (VIANNA; GONÇALVES, 2007).

De acordo com a NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013), a luz natural pode fornecer toda a quantidade de luz necessária para efetuar uma tarefa, porém a qualidade dessa luz depende do tipo de céu, e varia também com o passar das horas do dia, sendo necessária a complementação com luz artificial em alguns casos. A luz natural pode ser fornecida por aberturas zenitais e aberturas nas fachadas, trazendo consigo também a permeabilidade do vento entre o interior e o exterior.

Bogo (2007) ressalta que junto à luz natural permitida através de aberturas, ganhos térmicos também são admitidos. Esse fator muitas vezes é indesejável quando se quer manter a luz solar direta fora do ambiente interno, evitando ofuscamento, degradação dos materiais, ganhos térmicos e o aumento da temperatura interna.

Segundo Barbosa (2010), alguns outros aspectos ainda são essenciais para uma iluminação de qualidade, como a relação entre a quantidade de luz que permeia uma edificação e a qualidade dessa luminosidade. A autora afirma que a quantidade de luz necessária para realizar determinada tarefa vai além dos níveis estipulados pela legislação, pois é imprescindível também contar com uma luz considerada saudável.

Uma boa visualização é requisito fundamental para o conforto visual. Para que a luz exerça adequadamente sua função, é necessário que sejam seguidos alguns parâmetros. A NBR 8995/13 (ABNT, 2013) e alguns autores expõem algumas das métricas necessárias para se ter o conforto visual em ambientes internos de trabalho.

### 2.3 MÉTRICAS PARA O CONFORTO VISUAL

Negrão (2013) diz que para criar um ambiente confortável é necessária também a preocupação com os encadeamentos provocados pelos brilhos proveniente de fontes desprotegidas ou de variações drásticas de iluminância. Ainda segundo o mesmo autor, o brilho, por exemplo, pode ter dois tipos de consequências, o de se tornar um fenômeno desconfortável ou ser incapacitante, quando a luminosidade é tão forte, que faz com que torne impossível a utilização do espaço.

De acordo com Barbosa (2010), o conforto visual luminoso mais comum é aquele que se refere a aspectos da visão humana. Porém, o conforto inclui as necessidades humanas e fisiológicas. Baker e Steemers (2002) complementam dizendo que o conforto visual não conta apenas com a satisfação das necessidades dos usuários, mas ainda das necessidades subjetivas deles.

O conforto visual também é visto como um conjunto de condições em um determinado ambiente, onde o ocupante pode exercer suas funções com o menor risco de prejuízos à vista, de acidentes ou quando se pode visualizar bem os objetos no espaço (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Corbella e Yannas (2003) falam que, para atingir o bem-estar visual, deve-se ver/enxergar bem.

Santos (2007) diz que, para se minimizar a desconcentração do usuário ao exercer suas funções, os espaços de trabalho devem atingir níveis adequados de iluminância para cada tarefa a ser realizada. O autor complementa afirmando que a distribuição dessa iluminância em escritórios influencia na boa execução das tarefas.

A insolação adequada facilita o melhor aproveitamento da luz natural, seja pela orientação, pelo percentual de abertura das fachadas ou pelas superfícies refletoras. Em ambientes mal iluminados qualquer tipo de trabalho pode causar cansaço visual (BESTETTI, 2014).

Problemas com a incidência demasiada de iluminação natural em edifícios de escritórios com grandes percentuais de abertura de fachadas têm sido estudados com muita atenção. A esse respeito, é possível citar as pesquisas de Fontenelle; Bastos (2014), para definir melhores tipos de aberturas sob os critérios de nível de luz do dia no plano de trabalho, visualização da paisagem e eficiência energética.

Li; Tsang (2007) também estudam o desempenho da iluminação natural e suas implicações energéticas nos edifícios de escritórios. Esses autores investigam a iluminação natural em 35 edificações, e chegam à conclusão que o uso de vidros *Low-E* tem se tornado comum e que dispositivos de sombreamentos são cada vez menos utilizados.

No Brasil, existem normas que determinam procedimentos a serem tomados no que tange à questão da iluminação natural para construções. Para edificações residenciais, há a NBR 15575 (ABNT, 2013), onde são estipuladas iluminâncias no interior das residências. Os níveis medidos estão relacionados ao Fator de Luz Diurna (FLD), que é uma relação entre a luz natural e a iluminância em determinado ponto do edifício. Para ambientes de trabalho, os requisitos estabelecidos são provenientes da NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

Para cada tarefa ser desempenhada com máxima eficiência, é requerido que seja dada uma importância a certos parâmetros, como a distribuição da luminância, iluminância, ofuscamento, direcionalidade da luz, aspectos da cor da luz e superfícies. Os critérios recomendados para cada ambiente são: iluminância mantida na superfície de referência para um ambiente, índice de ofuscamento e índice de reprodução de cor.

A iluminação natural é uma característica eficaz na criação de um ambiente visualmente agradável e uma fonte de economia de energia em edifícios comerciais. A luz do dia é considerada a melhor fonte de luz para uma boa reprodução de cores e sua qualidade é a única fonte de luz que mais se aproxima da resposta visual humana.

A quantidade de luz natural que entra em um edifício, principalmente através de janelas laterais, fornece uma dupla função: admitir luz para ambientes internos, compondo uma atmosfera mais atraente e agradável, e permitir que as pessoas mantenham contato visual com o mundo externo. As pessoas desejam uma boa iluminação natural em seus ambientes de trabalho (LI; TSANG, 2007).

De acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), uma boa iluminação em locais de trabalho não é somente fornecer uma boa visualização do seu ambiente de execução da tarefa, e sim permitir que os trabalhos sejam realizados de modo confortável e fácil; vale ressaltar que o negativo de iluminação é o ofuscamento do plano de trabalho. Assim, a iluminação deve atender aos aspectos qualitativos e quantitativos, uma vez que a iluminação adequada gera conforto, criando bem-estar, desempenho e segurança visual.

Para atingir tais aspectos de qualidade da iluminação, é necessário atenção a alguns parâmetros que ajudam a atingir um ambiente agradável. Esses critérios são definidos pela ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 e contemplam a luminância, a iluminância, o ofuscamento, a uniformidade, o fator de luz do dia, a autonomia da luz do dia e a iluminância útil da luz do dia, conceitos que serão explicados abaixo.

### **2.3.1 Luminância**

Segundo Innes (2012), luminância é a definição para a intensidade da luz que uma superfície emana; ou seja: o brilho da luz emitida ou refletida de uma superfície. Esse fator se relaciona com a sensação do usuário ao ver uma superfície iluminada, e é medido em Candela (Cd).

### **2.3.2 Iluminância**

Innes (2012) cita iluminância como a luz que incide em uma superfície. A iluminância descreve a incidência da luminância em um ambiente ou plano, sendo a luz refletida uma proporção da iluminância. Esse critério é medido em lúmens/m<sup>2</sup> (Lux).

Segundo Santos (2007), iluminância é o critério que mais aparece nos estudos sobre iluminação de escritórios, sendo medido no plano horizontal. De acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1, a iluminância tem um impacto maior em como uma pessoa percebe e executa as tarefas. De acordo com a legislação nacional, os requisitos da iluminância em locais de trabalho não devem ser menores que os da Tabela 1 (NBR ISO/CIE 8995-1).

Tabela 1- Iluminância de escritórios.

Atividade	$E_m$ lux
Arquivamento, cópia, circulação	300
Escrever, teclar, ler, processar dados	500
Desenho técnico	750
Estações de projeto assistido por computador	500
Salas de reuniões e conferências	500
Recepção	300
Arquivos	200

Fonte: ABNT, 2013..

Para cada tipo de tarefa desenvolvida, será demandada uma quantidade diferente de iluminância no plano de trabalho. Atividades comumente desenvolvidas em escritórios, como escrever, teclar, ler, desenvolver projetos assistidos por computador e ministrar conferência, requerem iluminância mantida de 500 lux, nível adotado como referência nesta pesquisa.

Os valores descritos na legislação determinam a quantidade de lux mínima que deve ser obtida no plano de trabalho. Para atingir esses índices, os ambientes podem captar a luz proveniente do céu ou do sol, através de diversos sistemas de iluminação natural.

### 2.3.3 Ofuscamento

A norma NBR ISSO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) define que

Ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, que pode ser experimentado tanto como um ofuscamento desconfortável quanto como um ofuscamento inabilitador. O ofuscamento pode também ser causado por reflexões em superfícies especulares e é normalmente conhecido como reflexões veladoras ou ofuscamento refletido (ABNT, 2013).

Vianna e Gonçalves (2007) e Barbosa (2010) partilham da mesma opinião quando afirmam que o ofuscamento produzido pelo excesso de áreas envidraçadas é

um sério problema devido à grande quantidade de luminosidade que entra nos ambientes pelas aberturas. Muitos mecanismos têm sido testados para resolver esse problema, porém as soluções mais apropriadas estão em decisões projetuais, como aquelas que evitam a penetração direta dos raios solares, principalmente em se tratando de regiões de clima quente. Uma das soluções citadas também por Vianna e Gonçalves (2007) é o posicionamento das áreas de trabalho, podendo evitar a incidência de luz direta nos planos onde são executadas as tarefas.

### 2.3.4 Uniformidade

Segundo Almeida (2014), a uniformidade é calculada pela razão entre a iluminância mínima e a média (Equação 1). De acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), a uniformidade deve ser alterada gradualmente. A razão entre o valor mínimo e o médio da iluminância de uma tarefa não pode ser menor do que 0,7 e a área deve ser iluminada o mais uniformemente possível.

Equação 1- Cálculo de uniformidade.

$$U = \frac{E_{min}}{E_{méd}}$$

Onde  $U$  é a uniformidade,  $E_{min}$  é a iluminância mínima e  $E_{méd}$  é a iluminância média.

### 2.3.5 fator de luz do dia (*Daylight Factor*)

Corresponde à razão entre a incidência da luz do dia em um ponto no interior do ambiente onde deseja ser medido e a luz recebida no plano horizontal na condição de um céu nublado e sem obstruções na área externa desse ponto. Essa é uma métrica bastante difundida no estudo da iluminação natural, porém, por se tratar de uma informação que leva em consideração somente um tipo de céu, em um determinado horário, alguns pesquisadores tendem a não utilizar essa definição.

O fator de luz do dia é considerado uma métrica estática, isto é, depende apenas da geometria da arquitetura, uma vez que a localização e a orientação são irrelevantes em relação a um céu nublado ideal. Portanto, o fator de luz do dia representa a iluminância potencial em um determinado ponto, para o pior cenário, sob condições de céu nublado (ACOSTA *et al.*, 2018).

### **2.3.6 autonomia da luz do dia (*Daylight Autonomy* - DA)**

Segundo Reinhart *et al.* (2002), o conceito de autonomia da luz do dia é definido como a porcentagem de horas em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor previamente estipulado apenas pela luz do dia. Assim, quanto maior a autonomia da luz do dia, menor o consumo de energia elétrica gasto com iluminação artificial.

Ao contrário das métricas estáticas, a autonomia da luz do dia depende das condições climáticas e da localização do espaço, bem como das horas de ocupação. Embora a autonomia da luz do dia possa, quase que certamente, definir o consumo energético gasto em iluminação artificial necessário para atingir o mínimo de lux estipulado pela norma, ela apresenta uma maior precisão comparada as métricas baseadas em condições climáticas estáticas. A maior complexidade dessa métrica está relacionada à grande quantidade de variáveis que ela considera ao calcular esse fator (ACOSTA *et al.*, 2018).

De acordo com Fontenelle; Bastos (2014), a autonomia da luz do Dia indica a porcentagem de horas anuais em que um nível mínimo de iluminância pode ser mantido apenas pela luz natural. Para Didoné (2009), esse valor não permite a identificação de momentos onde os níveis de iluminância estão excessivamente altos, o que poderia ocasionar efeitos não benéficos para o usuário.

### **2.3.7 iluminância útil da luz do dia (*Useful Daylight Illuminance*)**

Esse conceito foi introduzido por Nabil; Mardaljevic (2006) e corresponde à porcentagem de horas em um ano, quando a iluminância medida em um plano de trabalho atinge um valor dentro de uma variação confortável. Fontenelle; Bastos

(2014) também utilizam essa medida para análise de iluminação natural e determinam como: UDI insuficiente, quando menor que 100 lux; suficiente, entre 100 e 2000 lux; e acima de 2000 lux é considerado excessivo. Alguns autores ainda distinguem que entre 100 e 500 lux é uma faixa onde é necessária a utilização de complementação de energia elétrica, e de 500 a 2000 lux não. Esses intervalos são adotados por diversos outros estudos de luz, como: Nabil; Mardaljevic (2006); Santos (2007); Maioli (2014); Laranja *et al.* (2016); e Fassina (2017).

Dessa forma, por muitos anos, o critério mais utilizado para uma boa iluminação em escritórios foi a iluminância média em um plano horizontal na altura da tarefa (Boyce, 2014). Entretanto, o conforto visual no ambiente de trabalho não é proporcionado apenas por essa única característica da iluminação; para uma avaliação mais abrangente do comportamento e, conseqüentemente, da qualidade da iluminação natural dentro dos ambientes, é necessário que se analise o desempenho de mais de uma métrica.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos da pesquisa, demonstrando o local de estudo, a construção dos modelos de edifícios a serem avaliados, o software escolhido para simulação, bem como as métricas utilizadas para avaliação do desempenho da luz natural.

#### 3.1 O LOCAL DE ESTUDO: A CIDADE DE VITÓRIA – ES

Vitória (latitude Sul de 20°19'09' e longitude Oeste de 40°20'50), capital do Espírito Santo, fundada no ano de 1551, possui atualmente 358 267 mil habitantes (IBGE, 2018) e se situa a sudeste do estado. Caracteriza-se por um clima tropical litorâneo, com umidades relativas superiores a 50% e temperaturas médias entre 18°C e 26°C, sendo mais elevadas no período do verão. Os ventos predominantes do município são de direção Nordeste (NE), com velocidade entre 2,1 e 3,6m/s, ocorrendo ainda ventos de direção S-SE e S-SW, atribuídos a frentes frias (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2019). Vitória é a quarta cidade mais populosa do Espírito Santo, integrando uma área geográfica de grande urbanização denominada Região Metropolitana da Grande Vitória - RMGV.

Figura 7- Localização da cidade de Vitória – ES.



Fonte: Adaptado do ESPIRITO SANTO, 1992.

## 3.2 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE ESTUDO

A construção dos modelos de estudo foi definida seguindo duas etapas correspondentes às etapas de análises: a) construção de modelos representativos de edifícios de escritórios em diferentes períodos na cidade de Vitória/ES e b) construção de modelos a partir das características dos edifícios representativos, variando o PAF, o tipo de vidro e a presença ou não de sombreadores externos à fachada Norte.

### 3.2.1 Construção Dos Modelos Representativos De Edifícios Em Diferentes Períodos

Para a construção desses modelos, foi usada como base a pesquisa de Maioli *et al.* (2018), a partir do mapeamento de edifícios de escritórios da cidade de Vitória - ES, que possuíssem quatro pavimentos ou mais, classificando-os em três períodos de construção: 1950 a 1979, 1980 a 1999 e 2000 a 2018.

Os resultados dessa pesquisa classificam os modelos predominantes no período de estudo, sendo as aberturas caracterizadas em Percentuais de Abertura de Fachada (PAF) e tipo de vidro (cor) utilizado.

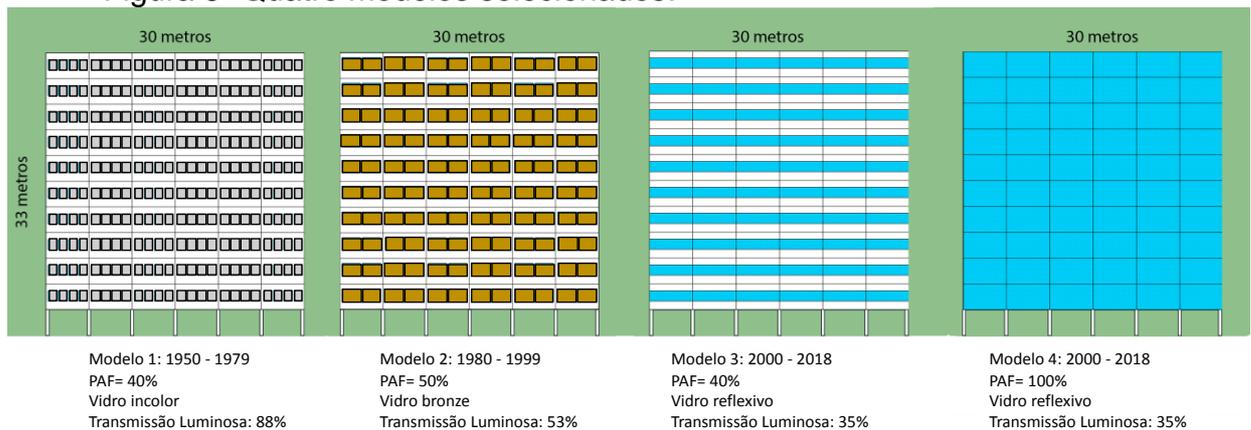
Sendo assim, tem-se quatro modelos representativos: de 1950 a 1979, o Modelo 1, com 40% de percentual de abertura e vidro incolor; de 1980 a 1999, o Modelo 2, com 50% de percentual de abertura e vidro bronze; de 2000 a 2018, o Modelo 3 e o Modelo 4, sendo com 40% de PAF e vidro reflexivo e 100% de PAF e vidro reflexivo, respectivamente.

A partir desses dados, definiu-se o tipo de vidro a ser estudado, adotando percentuais de Transmitância da Luz (TL) próximo a valores defendidos na literatura correspondente e aos períodos associados às cores de vidros correspondentes (LI; TSANG, 2007; ARSENAUT; HEBERT; DUBOIS, 2012). Sendo assim, estabeleceu-se que o tipo de vidro utilizado para o Modelo 1 (construção de 1950 a 1979), caracterizado pelo vidro simples incolor, corresponderia à transmitância da luz visível de 88%; o Modelo 2, caracterizado pelo uso do vidro bronze, corresponderia à transmitância de luz visível de 53%; e para os Modelos 3 e 4, caracterizados pelo uso do vidro reflexivo, a transmitância da luz visível adotada para estudo seria de 35%.

Como volumetria, utilizou-se como modelo padrão um edifício de base retangular, com dimensões de 30 por 15 metros (MAIOLI, 2014) e de 11 andares (MAIOLI *et al.*, 2018), sendo o pavimento térreo composto por pilotis e a cobertura por telhados embutidos.

A Figura 8 mostra a fachada principal de cada modelo estudado, representativo de cada período.

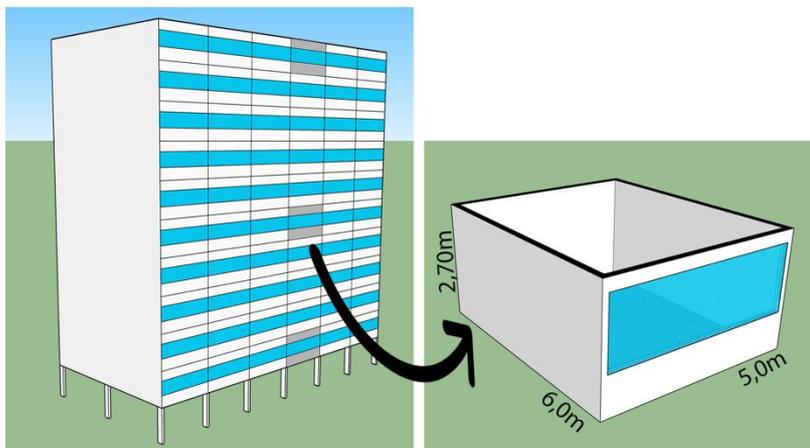
Figura 8- Quatro modelos selecionados.



Fonte: AUTOR, 2020.

Selecionou-se, para estudo, uma sala comercial de 30 metros quadrados e pé direito de 2,70 metros, acrescentando laje e piso acabados, similar aos estudos realizados em tipologias de edifícios comerciais por Bernabé (2012), Santos (2007) e Casagrande (2013). A sala possui 5 metros de largura por 6 metros de profundidade, cujas aberturas externas variam de acordo com o PAF de cada época histórica a ser estudada, assim como o tipo de vidro. Os modelos finais contam com as seguintes dimensões: 30 metros de largura e 15 de profundidade, sendo seis salas orientadas para frente e mais seis para os fundos, separadas por um corredor central (Figura 9).

Figura 9- Edifício Modelo 4, com destaque para a sala de estudo localizada no 5º pavimento.



Fonte: AUTOR, 2020.

Para os quatro modelos, foram simuladas as variações de orientação de fachada (Norte, Sul, Leste e Oeste) e variações de altura (sala no 1º, 5º e 10º andar do edifício). Vários autores, como Maioli (2014), Bavaresco (2016) e Fassina (2017), citam a importância de levar em consideração a orientação das aberturas dos ambientes.

Em relação à escolha da altura de investigação, os pavimentos selecionados foram o primeiro, o quinto e o décimo andares. Em investigação *in loco* dos edifícios estudados por Maioli *et al.* (2018), constatou-se que as edificações de escritórios predominantes no período de 1950 a 1979 possuíam pilotis no térreo e acima desses andares de trabalho. Já nas edificações de escritórios predominantes nos outros períodos - de 1980 a 1990 e 2000 a 2018 -, observou-se a predominância do uso de pavimento garagem, em média 2 andares, e acima deles os pavimentos de trabalho.

Com intuito de uniformizar as análises e investigar a influência do sítio e do entorno em pavimentos acima do térreo, optou-se pelo estudo do primeiro pavimento acima do térreo, assim como pelo estudo do quinto e décimo pavimentos, para verificar o desempenho da luz natural no extremo e intermediário à edificação.

Assim, foram realizadas 96 simulações, sendo 48 considerando a presença do entorno obstruído e 48 sem obstáculos no entorno.

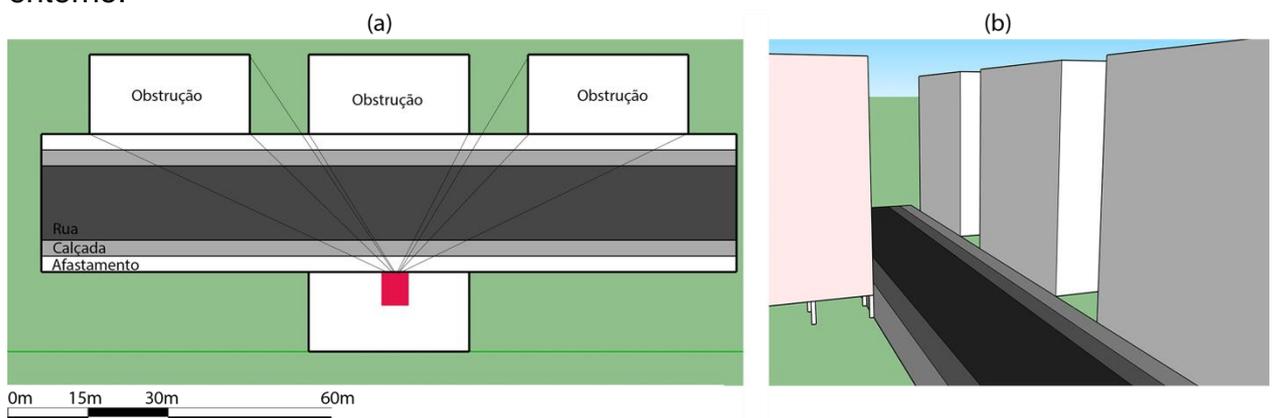
### 3.2.2 Características Do Entorno

Com o objetivo de simular uma situação que mais se aproxime da realidade e comparar a influência do entorno no desempenho lumínico, foram realizadas simulações com e sem a presença do entorno obstruído.

As simulações com entorno consideraram a inserção de prédios na parte frontal, fazendo o papel de elementos obstruidores de iluminação. Essas obstruções minimizam a parcela visível da abóbada celeste, reduzindo ou não a quantidade de luz natural incidente em um ponto interno do edifício e, por consequência, pode variar a quantidade de calor que a edificação absorve, alterando o consumo energético (LARANJA, 2010).

Para definir a posição, o afastamento e a dimensão desses edifícios, foi feita uma consulta ao Plano Diretor Urbano da cidade de Vitória(PDU). Essa busca permitiu ainda analisar os limites mínimos de afastamento frontal e lateral das edificações, assim como o dimensionamento das vias e calçadas. Estabeleceu-se então uma largura de via do modelo de uma “Via Local Principal”, que somada à calçada e aos afastamentos frontais mínimos totaliza 27 metros. O afastamento lateral mínimo entre os edifícios estipulado pelo PDU (PREFEITURA DE VITÓRIA, 2018) para prédios com essas dimensões é de 11 metros entre si (Figura 10).

Figura 10- (a) Implantação com entorno obstruído. (b) 3D com obstruções do entorno.



Fonte: AUTOR, 2020.

### 3.2.2 Construção Dos Modelos Que Variam Nos Seguintes Elementos Construtivos: Percentual De Abertura Da Fachada (Paf), Tipo De Vidro E Presença Ou Não De Sombreador Externo

Com intuito de verificar a influência de alguns elementos construtivos (PAF, tipo de vidro e presença ou não de sombreadores) no desempenho lumínico de edifícios de escritórios representativos em Vitória – ES, foram utilizados os modelos representativos dos períodos da etapa anterior, acrescentando apenas o Modelo 5A, que possui o Percentual de Abertura de 70%, haja vista que nos Modelos 3 e 4 ocorre uma lacuna no percentual de PAF, indo de 40% (Modelo 3) para 100% (Modelo 4).

Assim, torna-se interessante avaliar um modelo com percentual de abertura da fachada intermediário a esses, a fim de se chegar à indicação das fachadas mais adequadas a cada situação.

A Figura 11 mostra a variação dos cinco modelos de Percentual de Abertura de Fachada estudados nesta etapa, sendo eles: Modelo 1A com 40%, Modelo 2A com 50%, Modelo 3A com 40%, Modelo 4A com 100% e Modelo 5A com 70%.

Figura 11- Cinco modelos de prédios utilizados nesta etapa.



Fonte: AUTOR, 2020.

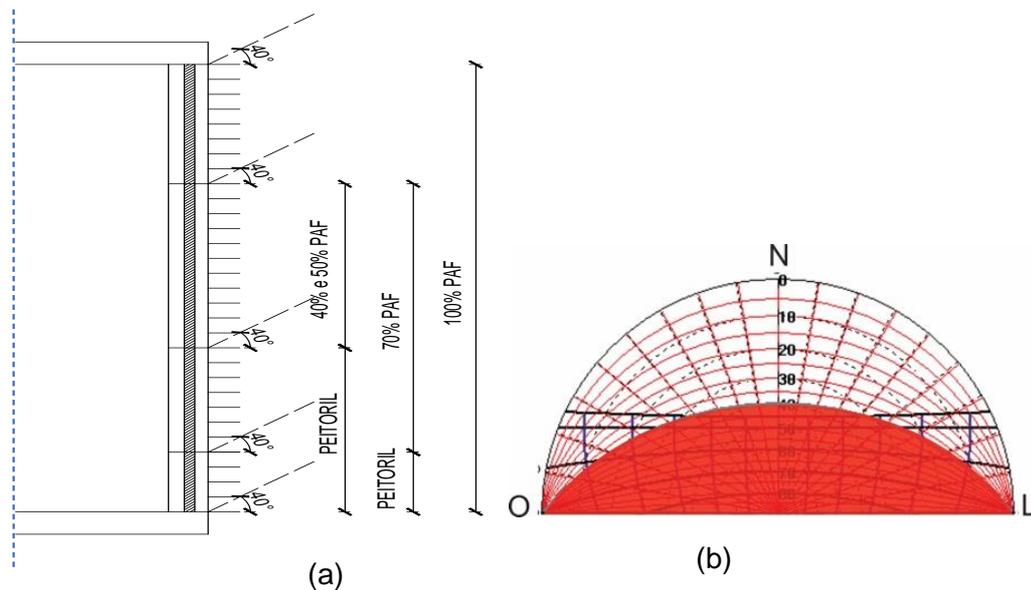
Nesta etapa, também foi acrescentada a investigação do impacto de sombreadores externos à fachada principal (brises horizontais), visando ao entendimento do efeito desse dispositivo no desempenho lumínico do ambiente. Através do estudo da carta solar dessa latitude (Figura 12), foi possível dimensionar os brises de acordo com a trajetória solar da região e o ângulo de 40° de proteção para o dimensionamento desses brises, a fim de criar uma maior obstrução das manchas solares no interior das salas, uma vez que para a cidade de Vitória esse

sombreador protegeria a maior parte da radiação incidente ao longo do período simulado.

Os modelos, por possuírem diferentes peitoris e alturas, direcionaram para a padronização de brises em todas as simulações, formando um ângulo de  $40^\circ$  em todas as tipologias.

Prateleiras de luz não foram utilizadas, pois a variação do PAF e do peitoril entre os modelos resultaria em dispositivos com diferentes dimensões, perdendo assim o efeito de comparação entre os modelos.

Figura 12- Corte dos modelos onde mostra todos os peitoris e PAF's (a). Carta solar da localização de Vitória, gerada pelo software Analysis SOL-AR, com máscara de sombreamento (b).

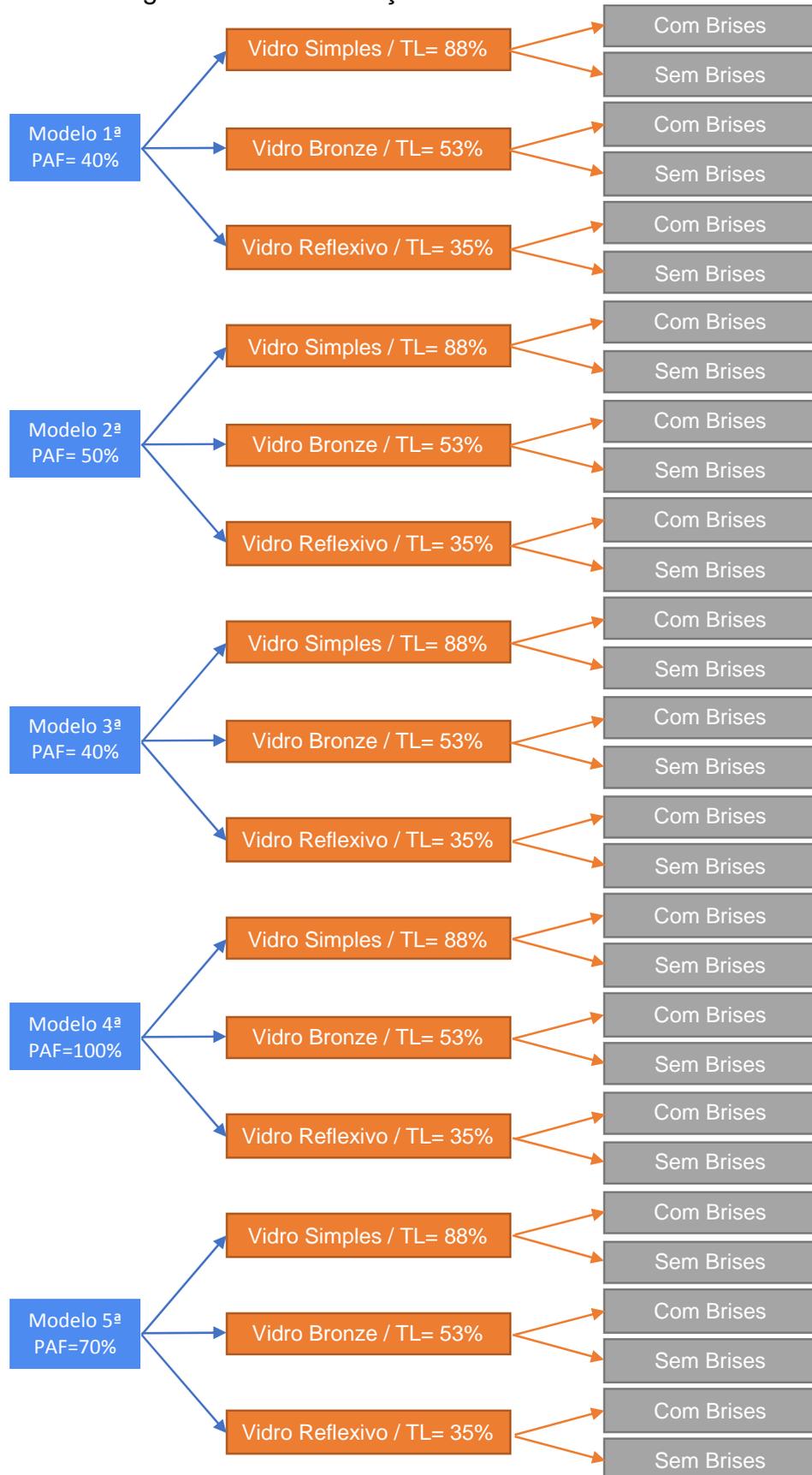


Fonte: AUTOR, 2020.

Dessa forma, foi averiguada, para cada modelo, a variação do PAF, o índice de transmissão luminosa do material transparente e a presença ou não de sombreadores externos à fachada principal (brises horizontais).

A Figura 13 ilustra as variações analisadas.

Figura 13- Fluxograma com as variações analisadas



A fim de se recortar o planejamento do estudo, os cinco modelos foram simulados considerando somente a orientação da fachada principal Norte e entorno obstruído. A escolha pela fachada Norte se deu por ser essa a que recebe maior incidência solar; e a preferência pelo entorno obstruído é reflexo da tentativa de representar a realidade dos centros urbanos, que cada vez estão mais verticalizados e os terrenos vazios são escassos. Para cada situação, investigou-se o desempenho lumínico no interior de uma sala de trabalho nos mesmos pavimentos utilizados na etapa anterior (1°, 5° e 10° pavimentos). Sendo assim, contabilizou-se um total de 90 simulações nesta fase do estudo.

### 3.3 SELEÇÃO DO SOFTWARE E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Para desenvolver a pesquisa e avaliar o desempenho da iluminação natural no ambiente de estudo, optou-se por utilizar a simulação computacional. Segundo Albuquerque; Amorim (2012), o uso de programas que auxiliam a análise de uma variedade de pontos auxilia na obtenção de informações para a tomada de decisões em projetos.

É importante ressaltar que nas realizações de medições *in loco* os resultados podem variar de acordo com as condicionantes ambientais do momento.

Para a escolha do software, foram levadas em consideração algumas características, como:

- Boa Interface;
- Ser um programa validado;
- Possibilidade de acesso ao software;
- Tempo de aprendizado do programa;
- Custo de aquisição;
- Programa que fizesse simulação dinâmica.

Nos últimos anos, os estudos de avaliação da iluminação natural passaram a utilizar métodos de simulação dinâmica, ou seja, surgiram novos índices que consideram o comportamento da luz natural em todas as horas do ano, em todo o ambiente. É uma inovação frente aos tradicionais métodos de medição e simulação estáticos, que conseguem definir a quantidade de iluminação em um determinado ponto e hora (LIMA, 2016).

Dessa forma, optou-se por realizar as simulações no software *DIVA-for-Rhino*, com modelagem 3D no software *Sketchup*, versão 7. A escolha se deu pela possibilidade de fazer simulação dinâmica da luz (todas as horas do ano), com avaliação de aspectos do desempenho visual (níveis e distribuição de iluminâncias), conforto visual (probabilidade de ofuscamento e contraste), no mesmo programa e também por ter sido utilizado em trabalhos científicos nacionais e internacionais como os de Fonseca (2015).

O *DIVA* é um *plug-in* que é instalado no programa de modelagem 3D *Rhinoceros*, desenvolvido inicialmente pela Universidade de Harvard e atualmente atualizado e comercializado pela Solemma LLC. Com o *plug-in* é possível simular o desempenho térmico de edificações e a autonomia de iluminação natural, dentre outras métricas (SOLEMMA LLC, 2016).

Para simulações de iluminação natural, o *DIVA* realiza simulações no *Radiance/Daysim*, que é um *software* validado por Reinhart; Walkenhorst (2001). Utilizado por muitos pesquisadores como Maioli (2014), Cartana (2016), Pereria *et al.* (2016), dentre outros.

As simulações feitas pelo *Diva* apresentam como dados de saída arquivos de texto (Figura 14), que posteriormente são exportados para o Excel, onde as informações são tabuladas e então analisadas. Para cada parâmetro simulado, é criado um novo arquivo com as informações de cada ponto.

Figura 14- Dados de saída do programa

INFORMAÇÕES SIMULADAS			
# UDI <100			
# sensor file_info			
40.364189	43.647022	4.060000	72
40.764191	43.647022	4.060000	63
41.164188	43.647022	4.060000	62
41.564190	43.647022	4.060000	54
41.964191	43.647022	4.060000	49
42.364189	43.647022	4.060000	42
42.764191	43.647022	4.060000	36
43.164188	43.647022	4.060000	30
43.564190	43.647022	4.060000	21
43.964191	43.647022	4.060000	17
44.364189	43.647022	4.060000	14
44.764191	43.647022	4.060000	8
45.164188	43.647022	4.060000	7
45.564190	43.647022	4.060000	7
40.364189	43.262409	4.060000	68
40.764191	43.262409	4.060000	65
41.164188	43.262409	4.060000	55
41.564190	43.262409	4.060000	51
41.964191	43.262409	4.060000	46
42.364189	43.262409	4.060000	38
42.764191	43.262409	4.060000	27
43.164188	43.262409	4.060000	23
43.564190	43.262409	4.060000	19
43.964191	43.262409	4.060000	16
44.364189	43.262409	4.060000	13
COORDENADA X	COORDENADA Y	COORDENADA Z	VALOR SIMULADO

Fonte: AUTOR, 2020.

Logo, para uma melhor análise dos dados, foi necessário organizar as informações de acordo com as características utilizadas em cada modelo. Assim, foi proposta uma codificação para os arquivos, como evidencia o Quadro 4, ao apresentar o Modelo 1, localizado com fachada principal para Norte, no primeiro pavimento e a análise de DA: MOD1\_N\_1pav\_DA500lx.

Quadro 3- Siglas utilizadas nas simulações

Sigla	Significado
Geral	
MOD1	Modelo 1 – década de 1950 a 1979, com 40% de variação de percentual de abertura de fachada
MOD2	Modelo 2 – década de 1980 a 1999, com 50% de variação de percentual de abertura de fachada
MOD3	Modelo 3 – década de 2000 a 2018, com 40% de variação de percentual de abertura de fachada
MOD4	Modelo 4 – década de 2000 a 2018, com 100% de variação de percentual de abertura de fachada
N	Orientação da fachada para Norte
S	Orientação da fachada para Sul
L	Orientação da fachada para Leste
O	Orientação da fachada para Oeste
1pav	Primeiro pavimento
5pav	Quinto pavimento
10pav	Décimo pavimento
Para análise da iluminação	
DA 500lx	Análise para o resultado quanto ao Daylight Autonomy como alvo 500 lux
UDI100lx	Análise para o resultado para Useful Daylight Illuminance abaixo de 100 lux
UDI 100 – 2000lx	Análise para o resultado para Useful Daylight Illuminance no intervalo de 100 a 2000 lux
UDI 2000lx	Análise para o resultado para Useful Daylight Illuminance acima de 2000 lux

Fonte: AUTOR, 2020.

### 3.4 PARÂMETROS DAS SIMULAÇÕES

O instrumento de pesquisa utilizado neste trabalho foi um *software* de simulação computacional, que necessita de informações pertinentes ao modelo, entorno e métricas objetivadas para o adequado aproveitamento.

### **3.4.1 Dias e Horários Das Simulações**

Os modelos foram simulados para todos os dias do ano, de hora em hora, levando em consideração que, no período das 8 às 12 horas e das 14 às 18 horas, o ambiente estará ocupado, e das 12 às 14 horas será o horário de almoço, intervalo cuja ocupação não foi considerada, baseado no horário de utilização de uma sala comercial, totalizando 8 horas diárias de ocupação (MAIOLI, 2014; BAVARESCO, 2016; FASSINA, 2017).

O arquivo climático utilizado foi o disponível no site <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>.

### **3.4.2 Tipo De Céu**

Dentre os fatores externos que influenciam na disponibilidade da luz natural, Fonseca (2015) cita a variação do clima, visto que a iluminação natural se altera de acordo com a época do ano e a hora do dia. Em função da grande variação de níveis de luminosidade que podem ocorrer ao longo do dia e do ano, nesta pesquisa, optou-se por trabalhar com simulações dinâmicas de luz natural, que retratam as condições do céu, de hora em hora, em um ano referencial da localidade selecionada.

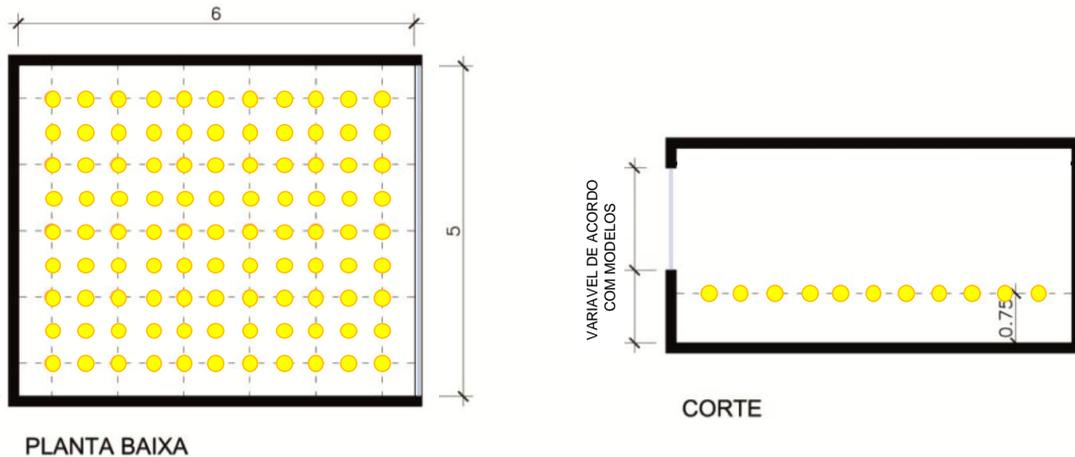
Esse tipo de simulação se apresenta como mais adequado aos métodos de avaliação propostos.

### **3.4.3 plano de trabalho**

Para a determinação da quantidade de pontos de medição, utilizou-se a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). A norma brasileira especifica os critérios de iluminação natural para ambientes de trabalhos internos e ainda indica valores e parâmetros para que seja possível desempenhar as tarefas de maneira eficiente, com conforto e segurança.

De acordo com análises realizadas na sala selecionada, foram determinados 99 pontos para a malha de estudo, mostrados na Figura 15 abaixo.

Figura 15- Malha de pontos.



Fonte: AUTOR, 2020.

A normativa expõe os critérios para determinação da malha de pontos, onde será efetuada a análise de desempenho da iluminação no ambiente interno. Essa malha é determinada pela forma da superfície de referência (ou plano de trabalho), deve estar a uma altura de 0,75 metros do piso, desconsiderando a faixa marginal de largura (0,50 metros), e seus pontos apresentam distância de 50 centímetros entre si.

#### 3.4.4 Refletâncias

A luz natural que entra no interior de um ambiente sofre alterações de distribuição espacial, em função das características das superfícies geométricas e da refletância dos elementos (BOGO, 2007). As refletâncias dos materiais de revestimento devem estar dentro de uma relação que evite o contraste excessivo.

Quanto às refletâncias utilizadas nos modelos, buscou-se aplicar índices que se aproximassem da média dos edifícios existentes e que colaborassem para reflexos de luminosidade no ambiente interno. Essa escolha baseou-se na NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) e nos estudos de Didoné; Pereira (2010), Maioli (2014) e Fassina (2017), que determinam faixas de refletâncias úteis para superfícies (Quadro 05).

Quadro 4- Refletâncias utilizadas

Superfícies	Refletâncias	Referências
Pisos	20%	Fassina (2017), Maioli (2014), Didoné e Pereira (2010).
Teto	70%	Bernabé (2012) e Maioli (2014). Fassina (2017) utiliza 80%. Para esta pesquisa, foram adotados os índices de Bernabé e Maioli.
Paredes Internas	50%	Fassina (2017), Bernabé (2012), Maioli (2014).
Paredes Externas	60%	Fassina (2017), Bernabé (2012), Maioli (2014).
Entorno obstruído	40%	Laranja <i>et al.</i> (2016).
Brisas	80%	Fassina (2017).

Fonte: Autor, 2020.

### 3.5 MÉTRICAS A SEREM AVALIADAS

Dentre as diversas métricas utilizadas para a avaliação do desempenho lumínico em edificações, foram selecionadas para este estudo as seguintes: Iluminância Útil de Luz Natural (UDI), Autonomia de Luz (DA), Uniformidade e Ofuscamento.

#### 3.5.1 Iluminância Útil De Luz Natural (UDI)

Como método de avaliação, foi utilizado o conceito de Iluminância Útil de Luz Natural (UDI, *Useful Illuminance Daylight*), de Nabil; Mardaljevic (2006). De acordo com os referidos autores, valores de iluminância abaixo de 100 lux são considerados insuficientes para contribuir na iluminação de um espaço interno. Valores de 100 a 500 lux são aceitáveis, porém é necessária a complementação com iluminação artificial; de 500 a 2000 lux são avaliados como sem necessidade de complementação; e os maiores de 2000 lux caracterizam iluminância excessiva. Por

isso o intervalo compreendido entre 100 e 2000 lux é indicado como a faixa de iluminância útil.

### 3.5.2 Autonomia De Luz (DA)

Segundo Boyce (2014), outro método de avaliação da luz natural associado a modelos é o DA – Daylight Autonomy, definido como porcentagem das horas ocupadas por ano, nas quais um nível mínimo de iluminância pode ser mantido apenas pela iluminação natural.

De acordo com a NBR ISO/CIE 8995/13, a Autonomia de Luz é determinada pela iluminância mínima, que para escritórios é de 500 lux, considerando a segurança e o conforto dos usuários para exercerem suas atividades, como mostra a Tabela 2 a seguir.

Tabela 2- Iluminância mínima determinada pela NBR ISO/CIE 8995-1 para escritórios.

Ambiente	Lux
Arquivamento, cópia, circulação	300
Escrever, teclar, ler, processar dados	500
Desenho Técnico	750
Estações de projeto assistido por computador	500
Salas de reuniões e conferências	500
Recepção	300
Arquivos	200

Fonte: ABNT, 2013.

### 3.5.3 Uniformidade

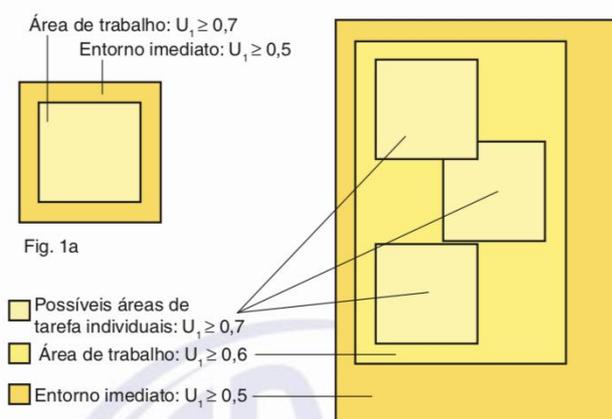
A métrica de uniformidade foi analisada de duas maneiras distintas neste trabalho: primeiramente por meio da metodologia descrita na NBR 8995/13 e depois por distribuição do DA em relação à profundidade da sala.

O primeiro método de análise de uniformidade foi através da NBR ISO/CIE 8995-1, que cita que “a iluminância deve se alterar gradualmente e a área da tarefa deve ser iluminada o mais uniformemente possível” (ABNT, 2013). Essa norma

também postula que a uniformidade da superfície é determinada pela razão entre o valor mínimo ( $E_{min}$ ) e o valor médio ( $E_{med}$ ).

Neste trabalho, adotou-se um valor de 60% no mínimo de uniformidade, uma vez que a legislação recomenda esse percentual como suficiente para ambientes de trabalho com possibilidade de layout flexível (Figura 16).

Figura 16- Área de trabalho e entorno imediato, com índices de uniformidade.



Fonte: ABNT,2013.

Esta pesquisa, assim como em Didoné (2009), Laranja; Gazzaneo; Cabús (2009), Didoné; Pereira (2010) e Maioli (2014), considerou os pontos de simulação distribuídos em um plano horizontal, como uma malha disposta a 0,75 m de altura em relação ao piso do ambiente, indicada para medições da área de trabalho (ABNT, 2005c). Esses pontos foram os mesmos utilizados para medição de UDI e DA.

Foi adotado o valor de 60% como percentual mínimo de uniformidade, como determina a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

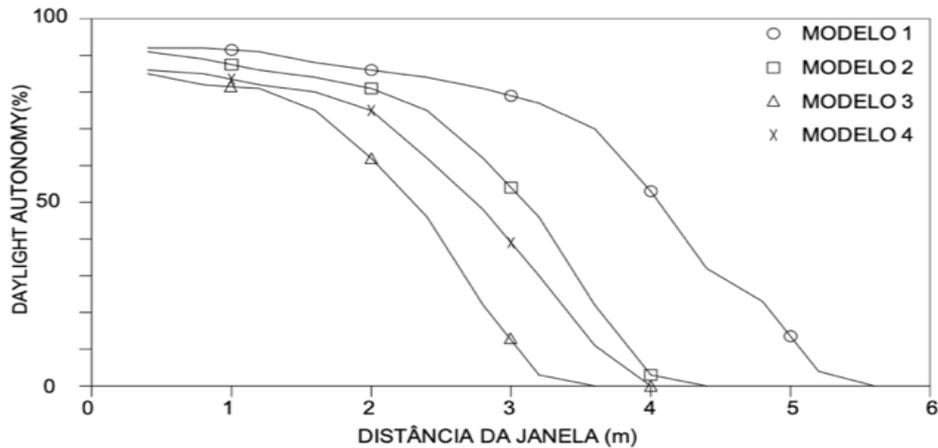
- Ideal: percentual de uniformidade for  $\geq 60\%$ ;
- Aceitável: percentual de uniformidade entre 50% e 60%;
- Inaceitável: percentual de uniformidade for  $\leq 50\%$ .

O segundo método de análise da uniformidade foi através da distribuição do DA no interior da sala, que analisa a malha de pontos utilizada nas simulações e cria um gráfico de decaimento dos valores de DA em relação à profundidade do ambiente (Gráfico 1).

Esse método foi utilizado pela possibilidade de visualizar o comportamento da uniformidade ao longo da profundidade do ambiente, permitindo a análise de áreas

que possuem maior ou menor horas simuladas acima de 500 lux, sendo esse o valor mínimo estipulado pela NBR 8995/13.

Gráfico 1- Exemplo de Curva de decaimento da métrica DA em relação à profundidade da sala.



Fonte: AUTOR, 2020.

### 3.5.4 Ofuscamento

Geralmente os valores de iluminância são usados para descrever a quantidade de luz distribuída ao longo do espaço, ao passo que os resultados baseados em luminância informam os aspectos qualitativos, como os efeitos visuais resultantes do brilho das superfícies e o conforto visual, através da verificação das questões de ofuscamento.

Segundo Jakubiec; Reinhart (2012), a métrica *Daylight Glare Probability* (DGP) é a que se apresentou como mais eficaz, de acordo com os estudos realizados, para avaliação de ofuscamento em ambientes com iluminação natural.

É possível verificar o potencial de risco de ofuscamento ao longo do ano, para uma vista do ambiente, através da simulação *Annual glare*. Esse índice de avaliação dinâmica da luz analisa as luminâncias em cada ponto do campo visual para as 8.760 horas do ano, possibilitando a análise da probabilidade de ocorrer ofuscamento.

A avaliação é feita com base no índice DGP, que determina que luminâncias maiores que 0,45 são consideradas intoleráveis; entre 0,45 e 0,40, perturbadoras; entre 0,40 e 0,35, perceptível; e abaixo de 0,35, imperceptível.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos por intermédio das simulações computacionais para os modelos de edifícios de escritórios definidos na metodologia deste trabalho, sendo dividido nas seguintes seções: 4.1) Desempenho lumínico em ambiente interno, considerando modelos representativos da evolução dos edifícios de escritórios em diferentes períodos; e 4.2) Desempenho lumínico em ambiente interno, considerando modelos que variam nos seguintes elementos construtivos: Percentual de Abertura da Fachada, tipo de vidro e presença ou não de brises horizontais.

O trabalho visa à obtenção de resultados do comportamento da iluminação, considerando a avaliação dos percentuais de iluminância dentro dos intervalos de UDI e de DA recomendados pela normatização pertinente ao assunto ao longo do ano. Para tanto, faz uma análise da uniformidade da luz em uma sala de trabalho, e estuda os índices de ofuscamento.

### 4.1 DESEMPENHO LUMÍNICO EM MODELOS DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS EM DIFERENTES PERÍODOS

Nesta etapa da pesquisa será apresentada a análise e a discussão dos resultados obtidos através das simulações computacionais para uma sala de trabalho, considerando quatro modelos de edifícios de escritórios (M1, M2, M3 e M4), de forma a corresponder aos exemplos representativos de diferentes períodos descritos por Maioli *et al.* (2018) e apresentados na metodologia deste trabalho na seção 3.

As simulações foram realizadas todos os dias do ano, nas quatro principais orientações – Norte, Sul, Leste e Oeste -, em três alturas diferentes (1º, 5º e 10º pavimentos) e presença ou não de entorno obstruído. Foram mantidos constantes os índices de reflexão das superfícies internas e externas, variando somente o percentual de abertura da fachada e o tipo de vidro de forma a corresponder aos modelos representativos, proporcionando, assim, o entendimento do aproveitamento da luz natural ao longo do tempo dado aos edifícios de escritórios.

#### 4.1.1 Análise Da UDI e Da DA Dos Modelos

A métrica de UDI proposta por Nabil; Mardaljevic (2005) é definida como uma porcentagem de horas de ocupação, ao longo do ano, em que a luz natural está compreendida entre as escalas de 100 lux a 2000 lux, sendo amplamente utilizada em estudos de iluminação (DIAS *et al.* 2018).

Essa métrica sofreu revisão da escala dos níveis de iluminância úteis, em anos posteriores à sua proposição. Embora a escala de valores úteis de iluminação de 100 a 2000 lux teve o seu limite máximo aumentado para 3000 lux, considerando os resultados de pesquisas mais atualizadas (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2008), optou-se, nesta pesquisa, pela adoção do limite de 2000 lux, pelo fato do relatório com o resumo das informações das simulações disponibilizadas pelo *Daysim* (um dos produtos de saída do Diva) não fornecer a informação de porcentagem do espaço em que a iluminação natural atinge esses valores para um período de ocupação.

Através do Gráfico 2, pode-se analisar os índices de iluminância que são apresentados em UDI para cada modelo, orientação, pavimento analisado e presença ou não de obstrução do entorno, para todos os dias do ano. As informações foram separadas em faixas, onde menos de 100 lux é considerado insuficiente; entre 100 e 500 lux é considerado aceitável, porém necessária a utilização de luz artificial em alguns momentos; de 500 a 2000 lux, foi considerado ideal; e acima de 2000 lux, inaceitável, pois é registrada a ocorrência de ofuscamento.

Ao observar os resultados, percebe-se que o Modelo 1, sem entorno, representativo do período de 1950 a 1979, mostra um maior percentual das horas simuladas dentro do intervalo de iluminância excessiva (maior que 2000 lux), ao passo que apresenta menores valores de iluminância insuficiente, quando comparado aos demais modelos sem entorno.

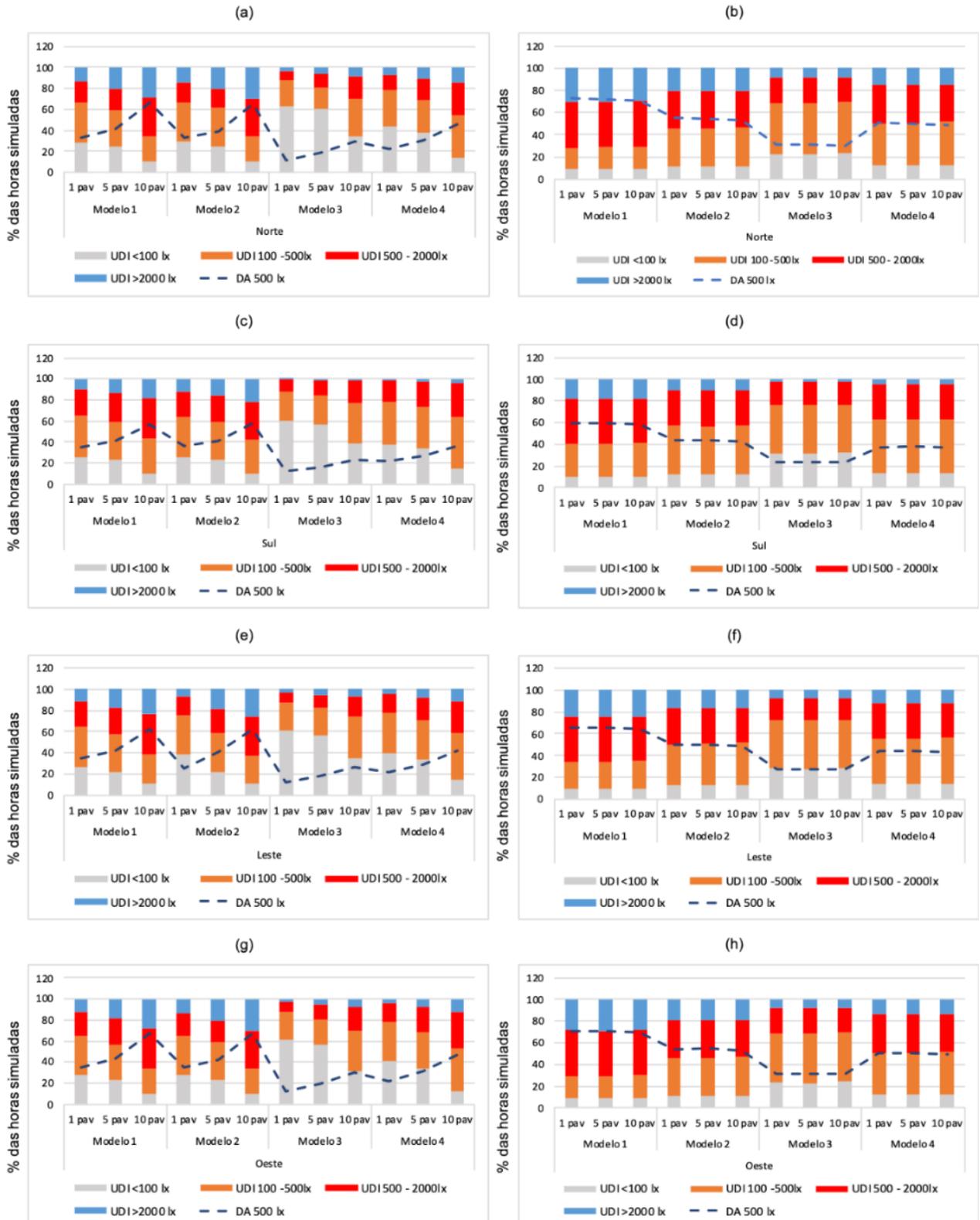
Apesar deste modelo ter sido simulado com um PAF de 40%, ele possui vidro incolor com 88% de percentual de transmissão solar e visível, permitindo a admissão de muita luminosidade, provocando ofuscamento por iluminância excessiva.

O intervalo de iluminância acima de 2000 lux alcançou valor entre 18,2% e 30,0% das horas simuladas do ano, correspondente aos dados das salas orientadas para Sul e Norte, respectivamente. Com relação às horas simuladas com iluminância

registrada abaixo de 100 lux, esse modelo apresentou os menores valores entre todos os estudos, com medições entre 9,2 e 9,9%, correspondentes à sala Oeste e à Leste, devido ao menor percentual de abertura que o modelo apresenta.

Quando observada a abrangência dos resultados apresentados em relação à faixa de iluminância útil, porém necessitando de complementação de iluminação artificial (100 a 500 lux), o percentual das horas simuladas para o Modelo 1, sem o entorno, mostra menores valores médios dentro dessa faixa, com valores oscilando entre 18,9%, referente à fachada Norte, e 31,1%, correspondente à fachada Sul. Já para a faixa de UDI que não necessita de iluminação complementar (entre 500 e 2000 lux), o mesmo modelo apresenta melhores resultados quando orientado para Oeste.

Gráfico 2- Dados da UDI e da DA dos 4 modelos, orientados para as 4 direções: (a) com entorno orientado para Norte, (b) sem entorno orientado para Norte, (c) com entorno orientado para Sul, (d) sem entorno orientado para Sul, (e) com entorno orientado para Leste, (f) sem entorno orientado para Leste, (g) com entorno orientado para Oeste, (h) sem entorno orientado para Oeste.



Fonte: AUTOR, 2020.

Ao se comparar o mesmo modelo, porém com entorno obstruído, percebe-se que de forma geral há um caimento nos níveis de iluminância útil em relação à ausência de entorno. Entretanto, no Modelo 1, de 1950 a 1979, a iluminância excessiva continua a apresentar os maiores valores, com oscilações de 13,8% e 20,7%, sendo respectivamente para as orientações Sul e Norte. Também permanece, no geral, o menor percentual de iluminância insuficiente, cerca de 20,1% das horas simuladas.

Para o intervalo de iluminância desejável, porém com auxílio de energia artificial (100 a 500 lux), as simulações, com o entorno obstruído, mostram valores oscilando entre 36,4%, referente à fachada Sul, e 31,6%, correspondente à fachada Oeste. Para a faixa que não necessita de auxílio de iluminação artificial, a fachada Sul alcançou maiores horas simuladas dentro desse intervalo, cerca de 30%; e a Norte, com a menor média, 26%. Sendo assim, para a fachada Sul, cerca de 1095 horas, dentre as simuladas, não necessitam de iluminação complementar.

O Modelo 1, de 1950 a 1979, ainda apresenta uma grande porcentagem das horas simuladas acima de 500 lux (DA), tanto com quanto sem o entorno obstruído. Para o cenário de simulação sem a presença de obstruções, o valor mais alto aparece quando orientado para Norte, onde alcança 71,5% das horas simuladas nos pontos de medição, e o menor na fachada Sul, com 59,2%. Entretanto, considerando a presença do entorno, as fachadas com maiores e menores porcentagens de DA não foram as mesmas com o cenário desobstruído, apresentando o melhor resultado a orientação Oeste, com 48,2%, e o pior a orientação Sul, com 43,8%.

O Modelo 2, sem entorno, representativo do período de 1980 a 1999, com o vidro bronze, cujo percentual de transmissão solar adotado foi de 53%, e o PAF de 50%, apresenta resultados gerais medianos, para as faixas de UDI e DA, quando comparado com os outros três modelos estudados.

O Modelo 2 demonstra também significativo percentual de iluminância excessiva na orientação Norte e menores valores para a orientação Sul, sendo respectivamente 20,3% e 10,5%, devido à trajetória solar e por não apresentar entorno. Já para as iluminâncias abaixo de 100 lux, no modelo em análise, sem entorno, foi observada variação entre 11,2% (para Oeste) e 12,7% (para Leste) das horas projetadas nos pontos de simulação.

Ao se analisar também a faixa considerada satisfatória, porém necessitando de auxílio de iluminação artificial (100 a 500 lux), o Modelo 2, de 1980 a 1999, sem obstrução, apresenta porcentagens maiores quando comparado às outras faixas de UDI. Sendo que, para a orientação Sul, o modelo possui os maiores valores (44,7%) e, para a orientação Norte, os menores valores (34,0%).

Para a faixa de iluminância satisfatória, sem a necessidade de complementação com iluminância artificial (500 a 2000 lux), a orientação Leste apresenta o pior desempenho (33,1%) e a orientação Oeste, o melhor (35% das horas simuladas); uma diferença relativamente pequena, quando comparada à diferença de UDI entre 100 e 500 lux.

No entanto, os valores de DA se mantêm numa faixa entre 43,0 e 54,1% para as simulações sem entorno e 42,8% e 47,8% com entorno, nos horários simulados nos pontos com iluminâncias acima de 500 lux, muito provavelmente influenciados pelo tipo de vidro utilizado nesse período (representado pelo bronze), com índice de 53% com relação à transmitância à luz visível. Esses valores são inferiores ao Modelo 1, de 1950 a 1979, porém superiores aos demais modelos.

O Modelo 3, representativo do período de 2000 a 2016, com PAF de 40% e vidro reflexivo com TL= 35%, apresenta menores valores para DA, UDI acima de 2000 lux e UDI entre 500 e 2000 lux e também grande percentual de horas simuladas com UDI inferior a 100 lux. Essas características, provavelmente, ocorreram em função do seu percentual de abertura de fachada ser menor e do tipo de vidro utilizado, com baixo percentual de transmitância.

Pode-se perceber que, para a iluminância excessiva, faixa que pode causar desconforto ao usuário, o modelo apresentou os menores resultados quando comparado aos outros modelos simulados sem o entorno, variando de 8,9% para Norte a 2,2% para Sul. Para a iluminância insuficiente, onde é necessária a utilização de iluminação artificial para poder-se atingir o mínimo de lux estipulado pela norma, os valores foram superiores aos demais, já que para a orientação Sul atingiu-se o máximo de 31,8% das horas simuladas e, para a orientação Norte, o mínimo de 22,8%.

Isso ocorre devido à presença de peitoril e de um vidro com baixo percentual de transmitância da luz visível. No intervalo de iluminância útil, mas com a necessidade de complementação de iluminação, o modelo apresenta maiores

porcentagens simuladas no geral, onde o valor máximo atingido foi para a fachada Norte e valor mínimo para a fachada Leste.

Entretanto, para a faixa útil, sem necessidade de complemento de iluminação, os valores são baixos quando comparados aos outros modelos, variando de 20,5% a 23,9%. Tem-se, portanto, que embora essa tipologia construtiva proporcione menores valores de iluminação excessiva e baixa porcentagem de horas dentro da faixa de iluminação insuficiente, a quantidade de horas dentro da faixa adequada de luz natural sem necessidade de complementação é a menor em relação aos demais modelos.

Para as simulações com o entorno, os resultados também mostram a maior iluminância excessiva e DA acima de 500 lux, na fachada Norte. Da mesma forma, o resultado da simulação com entorno apresenta o menor resultado para iluminância útil, sem o auxílio de luz artificial, onde essa métrica possui melhor desempenho, quando analisada para a fachada Sul.

Para o mesmo Modelo 3, representativo do período de 2000 a 2016, com PAF de 40%, considerando a presença do entorno, iluminância excessiva, iluminância entre 100 e 500 lux e entre 500 e 2000 lux, os valores para DA permanecem inferiores quando comparados com os outros modelos. Destaca-se o fato de que a presença do entorno neste modelo aumenta ainda mais os valores de iluminância dentro da faixa insuficiente.

Sem entorno obstruído, foram observadas iluminâncias abaixo de 100 lux entre 52,6% e 50,8% das horas simuladas para Norte e Leste, enquanto as simulações com iluminância acima de 2000 lux foram registradas entre 1,2 e 6,4% dos horários, isso devido ao baixo percentual de abertura que o modelo apresenta, quando associado a um vidro com alto fator de absorção de transmissão luminosa. Já a faixa de iluminância útil, com auxílio de iluminância artificial, manteve-se entre 27,4% para Norte e 31,5% para Sul. E entre 500 e 2000 lux, a variação foi de 13,6% para Norte e 15,9% para Sul.

Neste modelo é interessante ressaltar os altos índices para iluminância insuficiente nos pavimentos inferiores, e uma homogeneidade para os pavimentos superiores. Também é evidente a grande diferença entre iluminância insuficiente e excessiva, variando mais de 50% entre as faixas, isso devido à interferência do entorno, fazendo com que grande parte das horas simuladas apresentassem sombreamento nos pavimentos inferiores.

É importante destacar que para as iluminâncias excessivas é possível o controle com elementos sombreadores, como: brises, cortinas e persianas. Porém, para iluminâncias insuficientes, é necessária a utilização de iluminação artificial.

Ao se observar o Modelo 4, representativo do período de 2000 a 2016, com PAF de 100%, sem presença de entorno obstruído, tendo como valores de análise as médias dos resultados obtidos para as orientações, é possível perceber o significativo valor de iluminância útil, com necessidade de complementação (100 a 500 lux), alcançando percentuais entre 49,4 e 37,6% das horas simuladas, provavelmente devido ao tipo de vidro utilizado (TL= 35%), mesmo com um maior percentual de abertura da fachada (PAF= 100%).

Ao analisar a faixa útil de iluminância entre 500 e 2000 lux, constata-se variações entre 31,6% e 36,6%, mostrando uma baixa variação nesse intervalo, em todas as orientações analisadas. Entretanto, observando a iluminância excessiva, percebe-se uma grande variação entre as simulações, onde a mínima foi de 4,5% e a máxima de 15,5%, sendo respectivamente para Sul e Norte, demonstrando a grande importância da orientação das fachadas.

Todavia, o vidro reflexivo com TL= 35% não permite um grande percentual de autonomia de luz natural, estabilizando os valores entre 49,7% (para Norte) e 37,2% (para Sul). Esses valores foram inferiores apresentados pelos Modelos 1 e 2 e superiores ao Modelo 3, com mesmo tipo de vidro, porém com maior PAF.

Ainda analisando o Modelo 4, porém com o entorno obstruído, pode-se perceber resultados similares à simulação sem entorno, em relação ao desempenho de UDI e da DA entre os modelos. Os valores de iluminância insuficiente variam entre 28,8% e 31,8%, sendo ainda maiores do que os Modelos 1 e 2 e menor do que o Modelo 3, isso devido à diferença de percentual de abertura da fachada entre os modelos.

A faixa entre 100 e 500 lux apresenta a maior porcentagem de UDI entre as simulações com entorno obstruído, no Modelo 4, chegando à máxima de 49,5% e mínima de 31,2%, orientada para Sul e Norte respectivamente. Destaca-se apenas a influência do entorno em comparação ao desempenho entre as fachadas; visto que, sem a presença do entorno, o melhor desempenho de UDI para a faixa que não necessita de complementação artificial é alcançado pela fachada Oeste, e com a

presença do entorno, o melhor desempenho é alcançado pela fachada Sul. Tal resultado também é percebido em todos os outros modelos analisados.

Os valores de DA, no Modelo 4, foram superiores aos apresentados no Modelo 3, porém inferiores aos demais modelos, demonstrando a influência do tipo de vidro empregado, já que a média da métrica de DA neste modelo foi de 31,5%.

Todos os modelos simulados com entorno apresentaram maiores percentuais de iluminância insuficiente quando comparados com a faixa excessiva, acima de 2000 lux. Ao passo que, nas simulações sem entorno, as orientações Leste e Sul apresentaram maiores valores de porcentagem de iluminância excessiva em comparação com a porcentagem de iluminação insuficiente. A faixa de 100 a 500 lux, considerando o entorno, apresentou o mesmo direcionamento que a análise sem o entorno, onde as iluminâncias maiores predominaram para Sul e Leste.

#### **4.1.2 Análise Comparativa De UDI e de DA Entre Os Modelos**

Ao se comparar os modelos sem entorno, percebe-se uma variação no que diz respeito à métrica de DA (> 500 lux) ao longo do tempo, pois no Modelo 1, que é representativo dos anos de 1950 a 1979 este índice médio é de 66,4%, já no Modelo 2, correspondente aos anos de 1980 a 1999, o valor médio diminui para 50,1%, enquanto no Modelo 3, representativo dos anos 2000 a 2016, é de 28,3%. No Modelo 4, também referente a este último período, o valor de DA chega a subir a 45,1%, devido ao maior percentual de abertura, porém não ultrapassa os valores dos Modelos 1 e 2.

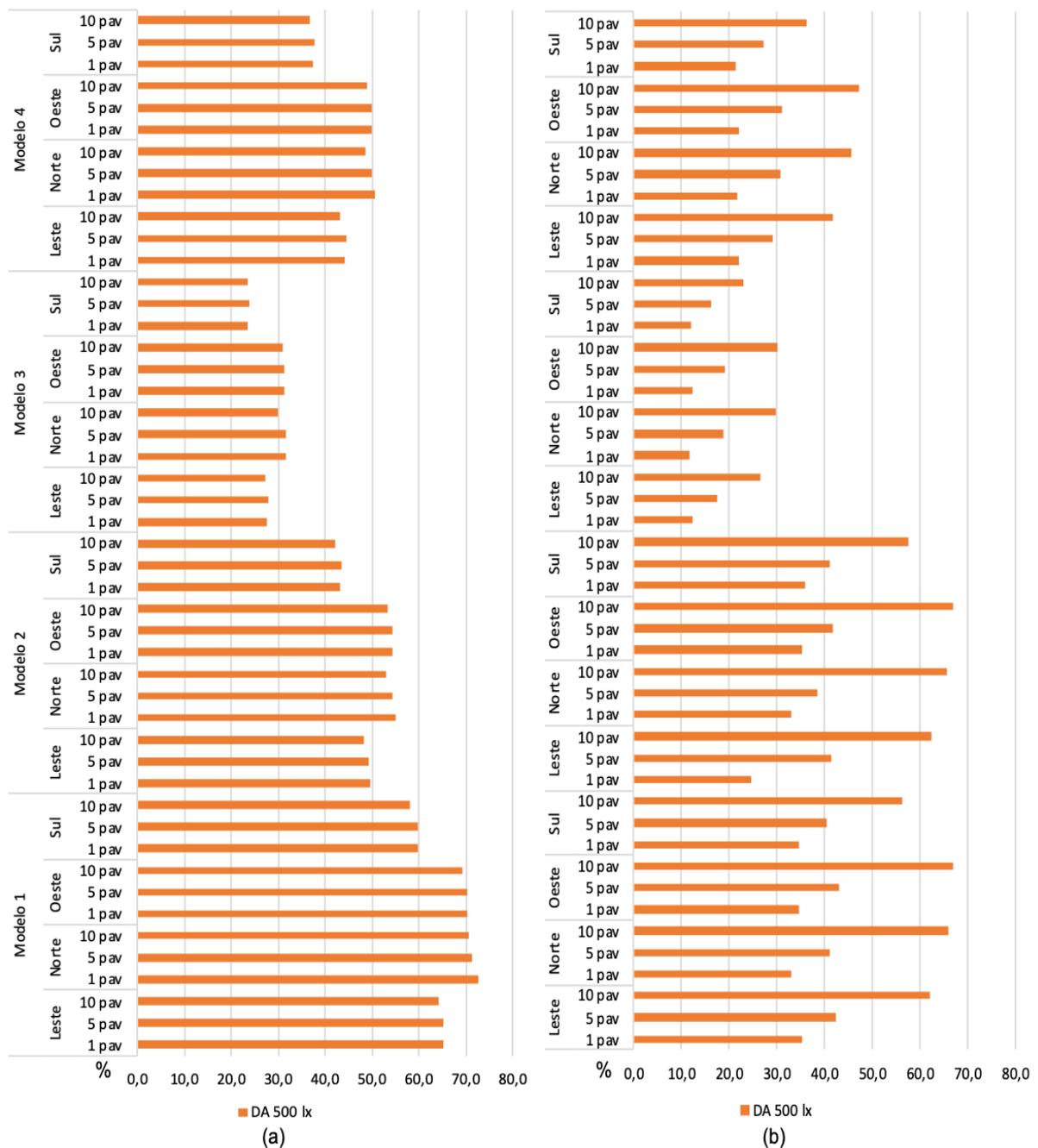
O mesmo acontece quando comparamos os modelos com entorno. Entretanto, a diferença de variação de DA entre os Modelos 1 e 2 é menor, já que o Modelo 1 é de 46,3% e o Modelo 2 é de 45,3%, variando menos de 1%. Porém, para os modelos contemporâneos, a diferença é mais acentuada, uma vez que o Modelo 3 apresenta 19,1% e o Modelo 4 possui um acentuado aumento de 12,2%, todavia não ultrapassando os Modelos 1 e 2.

É perceptível também que, nos resultados para as simulações sem entorno, os valores de DA foram mais regulares para cada orientação; já com a presença do entorno obstruído, esses valores foram mais altos para os pavimentos mais elevados

e inferiores para os mais baixos, isso devido ao sombreamento que o entorno causa no prédio simulado e principalmente nos andares mais baixos, como esperado.

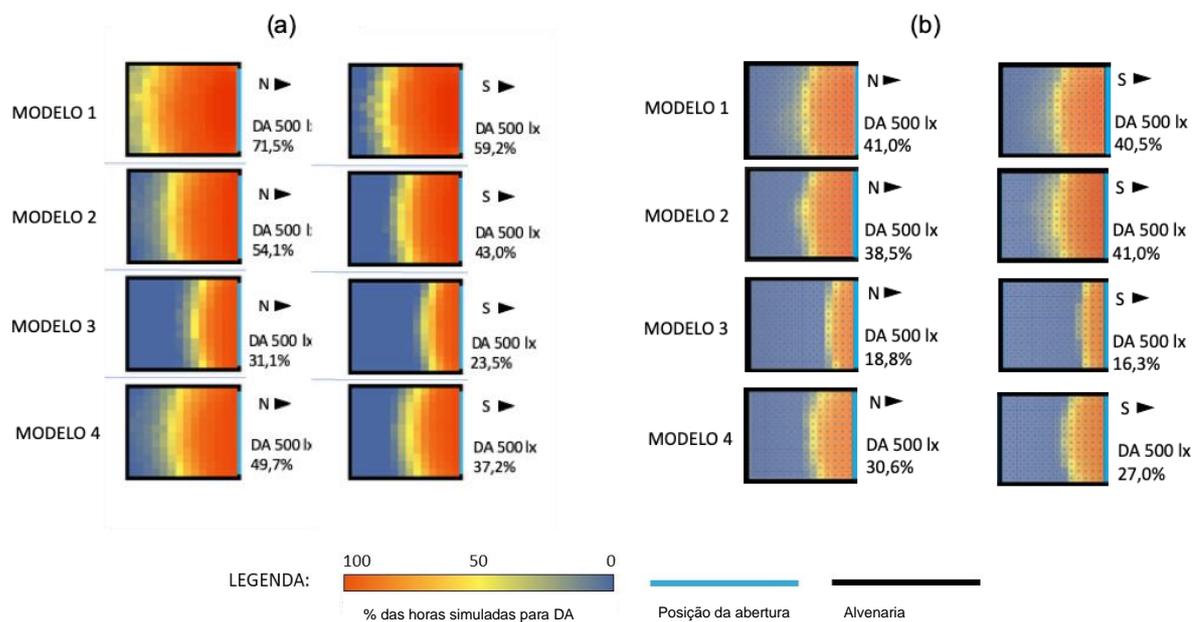
É possível perceber essas informações através do Gráfico 3, onde são apresentados os resultados de DA de todos os modelos representativos dos períodos simulados.

Gráfico 3- Informações de DA, sem entorno (a) e com entorno (b), para todos os modelos e orientações.



Na comparação geral entre os modelos, com relação às faixas de UDI, pode-se perceber um pequeno aumento de UDI desejável no Modelo 4, quando comparado aos outros edifícios, o que indica a influência do grande PAF associado a um vidro de baixa transmitância à luz visível. Esse fato pode ser mais bem observado na Figura 17, por apresentar as simulações referentes às fachadas Norte e Sul, que alcançaram o maior percentual de horas simuladas na faixa de iluminância útil.

Figura 17- Comparação da distribuição do percentual de DA (500 lux) no plano de trabalho das salas da fachada Norte e Sul dos 4 modelos representativos para o quinto pavimento sem entorno (a) e com entorno (b).



Fonte: AUTOR, 2020.

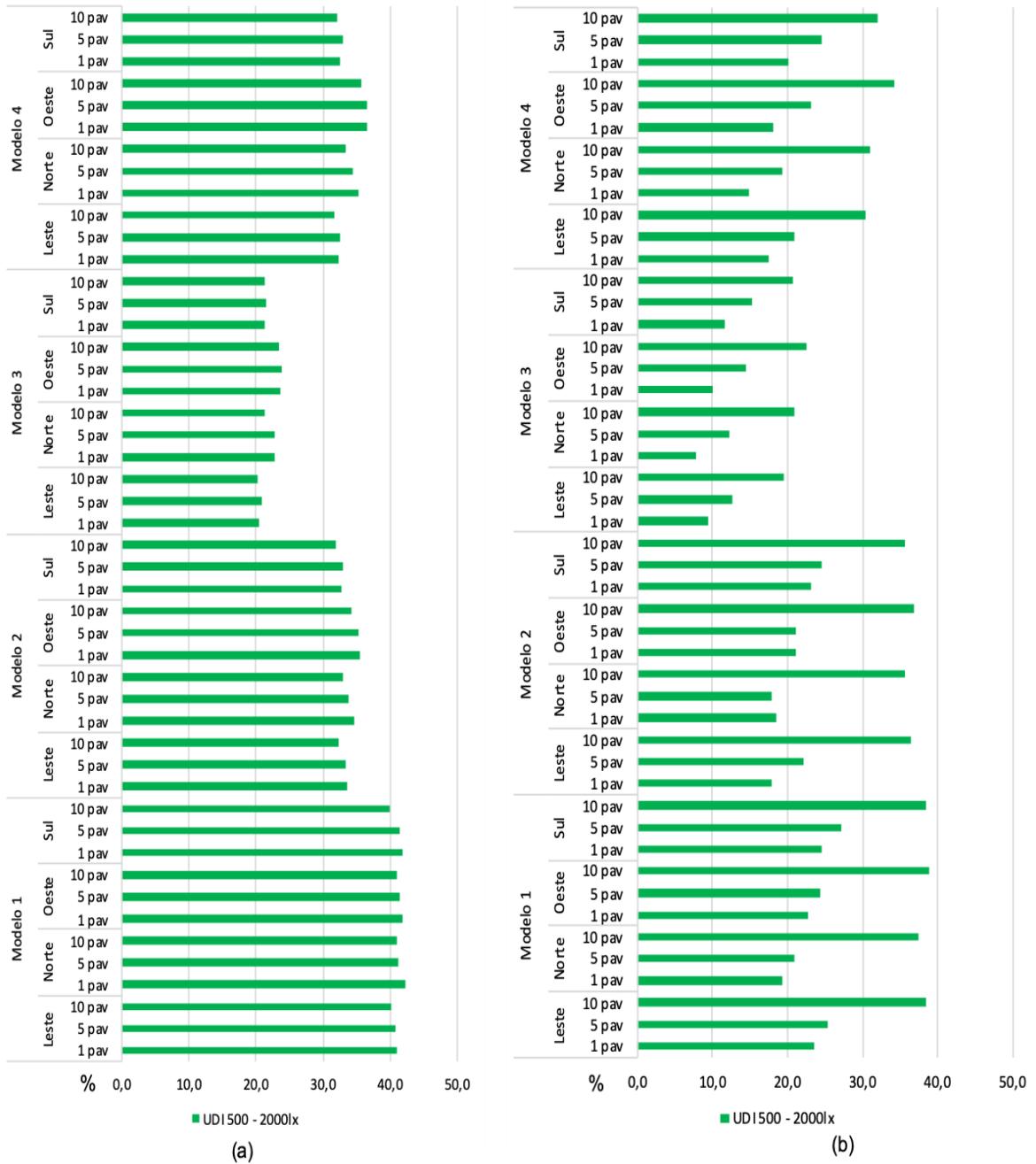
Chama atenção que, do ponto de vista do desempenho da luz natural, a iluminância excessiva seja mais fácil de se controlar do que a predominância da iluminância insuficiente que resulta quase sempre em acionamento da iluminação artificial.

Quando se compara com as simulações com o entorno, percebe-se que o Modelo 1, representativo de 1950 a 1979, também apresenta o maior percentual de UDI desejável, sem o auxílio de iluminação artificial (Gráfico 4). Porém, com o entorno, esse modelo demonstra o maior percentual de UDI insuficiente, devido ao menor percentual de abertura da fachada, característico do próprio modelo (40%), quando comparado aos demais.

Já com relação às faixas de UDI, pode-se perceber um pequeno aumento de UDI desejável (500 a 2000 lux) do Modelo 1, quando comparado aos outros edifícios, o que indica a influência do tipo de vidro de alta transmitância à luz visível. Entretanto, essa tipologia também tem como característica altos valores para iluminância excessiva, sendo maior que todos os outros modelos.

Outra ponderação a ser feita com relação à métrica UDI é que no Modelo 3, representativo dos anos de 2000 a 2016, com PAF de 40%, os valores de insuficiência de iluminância (abaixo de 100 lux) são bem maiores do que qualquer outro modelo, inclusive comparados ao Modelo 2, representativo de 1980 a 1999, que utiliza o vidro bronze (transmitância de 53%) em fachada, provavelmente em virtude dos 10% a mais de PAF e da transmitância dos vidros. Esse resultado encontra-se também nas simulações com entorno obstruído.

Gráfico 4- UDI entre 500 e 2000, sem entorno (a) e com entorno (b) obstruído.



Fonte: AUTOR, 2020.

### 4.1.3 Uniformidade

Neste tópico, foi analisada a uniformidade da luz dentro de um ambiente interno, utilizando duas metodologias:

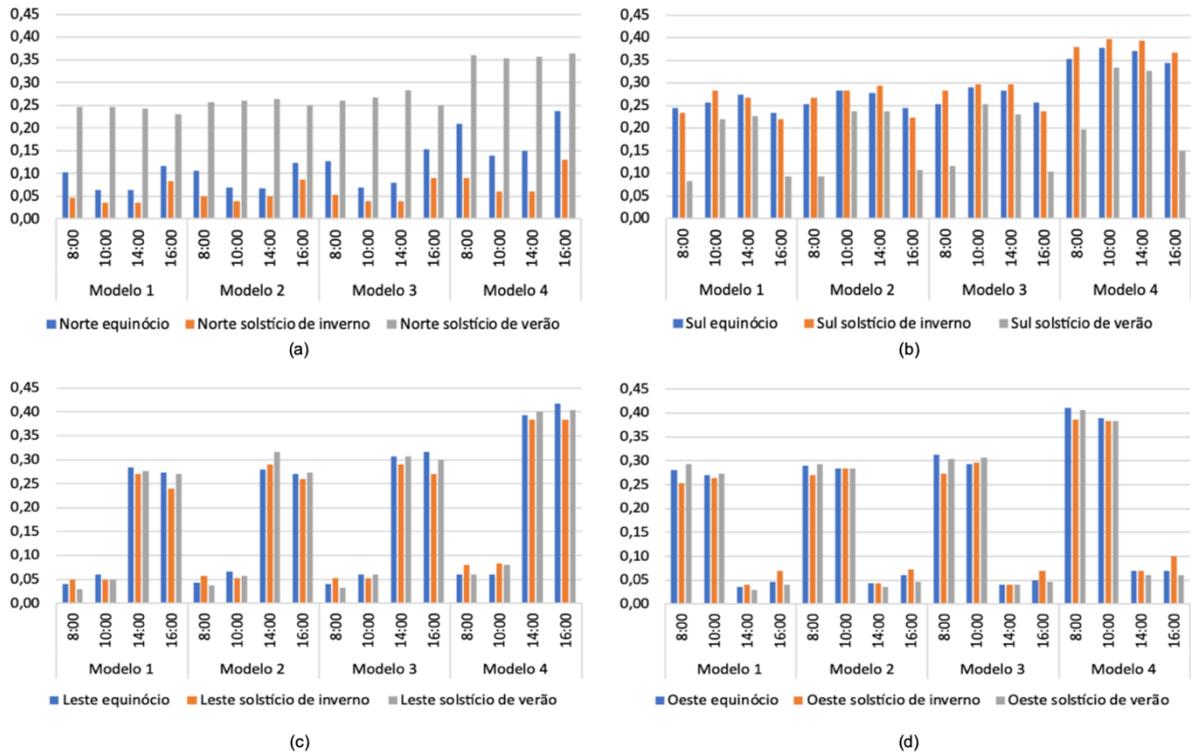
a) O primeiro método, em conformidade com a ABNT 8995/2013, calculou a razão entre a iluminância mínima e a média em cada sala, levando em consideração os valores determinados pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) de no mínimo 0,6 (ou 60%), para a área de trabalho. Nesta etapa, foram observados os dados referentes ao desempenho dos 4 modelos representativos dos diferentes períodos, variando a orientação (Norte, Sul, Leste e Oeste) e considerando o período do equinócio de outono e dos solstícios de verão e de inverno, para os seguintes horários: 08h, 10h, 14h e 16h. Tais horários foram selecionados de forma a retratar o desempenho da luz natural ao longo do período de funcionamento de salas comerciais de trabalho. A análise se deu apenas para o céu claro (CIE 12), uma vez que esse modelo de céu é o que apresenta as maiores influências na uniformidade de um ambiente.

b) A segunda metodologia utilizada foi a análise de uniformidade da métrica de DA, através da porcentagem de horas simuladas dessa métrica em função da profundidade da sala, conforme a pesquisa de Dias *et al.* (2018). A análise ocorreu também para as quatro orientações, através de simulações computacionais dinâmicas, considerando o cenário sem e com a obstrução do entorno.

#### 4.1.3.1 Uniformidade Através Da NBR 8995/13

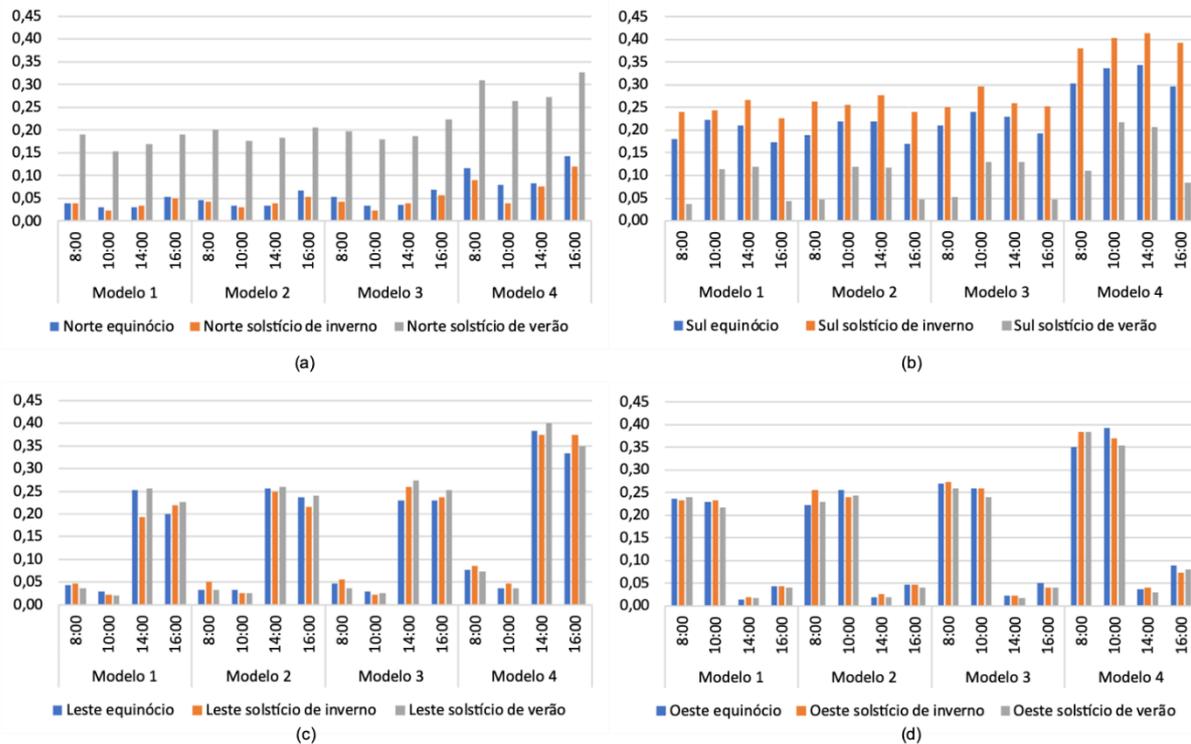
Percebe-se, através dos Gráficos 5 e 6, que representam os valores da uniformidade de cada um dos quatro modelos, para as quatro orientações principais, que a distribuição da iluminância no ambiente não atinge os valores determinados pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), de no mínimo 0,6 (ou 60%) para a área de trabalho, em nenhuma orientação e em nenhum dos modelos representativos dos períodos.

Gráfico 5- Uniformidade sem entorno: (a) Norte, (b) Sul, (c) Leste e (d) Oeste.



Fonte: Autor, 2020.

Gráfico 6- Uniformidade com entorno: (a) Norte, (b) Sul, (c) Leste e (d) Oeste.



Fonte: AUTOR, 2020.

Esse fato demonstra a importância da investigação do desempenho da uniformidade na análise da qualidade lumínica dos ambientes. Resultados semelhantes aos apresentados, onde se analisa aberturas de fachadas em edifícios de escritórios sem elementos de auxílio à distribuição da luz natural, como as prateleiras de luz, foram encontrados nas pesquisas de Fassina (2017) e Danieleski *et al.* (2017).

Observa-se que, em média, os maiores índices de uniformidade nas simulações com e sem entorno são atingidos pelos modelos na orientação Sul (20,88% com entorno e 25,66% sem a obstrução do entorno), considerando os horários analisados ao longo do dia e todos os períodos do ano em comparação às outras orientações (com obstrução: 10,80% para Norte, 15,60% para Leste e 15,65% para Oeste; sem obstrução: 15,34% para Norte, 18,3% para Leste e 18,26% para Oeste), cujos resultados apresentam maior faixa de variação entre os horários do dia.

Dentre todos os modelos simulados para a orientação para Sul, o Modelo 1, com vidro simples, apresentou menores valores médios para uniformidade da luz, cerca de 17,31% com entorno e 21,94% sem obstrução do entorno. Esses baixos valores são resultado do alto percentual de transmissão de luz visível do modelo de vidro utilizado.

O Modelo 4 apresenta os maiores índices de uniformidade: 33,22% (sem entorno) e 29,06% (com entorno), o que pode ser explicado pela baixa TL do vidro reflexivo. Esse modelo alcançou os maiores valores de uniformidade, nos dois cenários (com e sem entorno), nos horários das 10h e das 14 horas, enquanto o Modelo 1 obteve os percentuais de uniformidade mais baixos nos horários das 08h e das 16 horas, tanto com e sem obstrução do entorno.

A fachada Sul é a que recebe menor incidência solar direta, ao longo do ano, na cidade de Vitória/ES, fazendo com que a constância da iluminância seja maior. Ao se comparar a uniformidade e a métrica DA, quando a edificação está orientada para o Sul, em geral, é possível perceber menores níveis de DA e maiores níveis de uniformidade (Tabela 3). Ou seja, para Norte, Leste e Oeste, os índices de uniformidade são menores, porém a porcentagem de DA é maior, quando comparados com a orientação Sul.

Tabela 3- Comparação das quatro orientações, com a métrica de DA e de Uniformidade.

Orientação	Sul		Norte		Leste		Oeste	
	DA	Un.	DA	Un.	DA	Un.	DA	Uni.
Com entorno	33,5%	0.20	36,3%	0.10	34,8%	0.15	37,5%	0.15
Sem entorno	40,8%	0.25	51,6%	0.15	46,4%	0.18	51,2%	0.18

Fonte: AUTOR, 2020.

As fachadas Leste e Oeste apresentam significativa diferença nos valores de uniformidade entre os horários matutino e vespertino; os resultados tendem a ser inversamente proporcionais entre si, pois a trajetória solar é semelhante. Algumas características dos resultados são observadas nessas duas orientações, como os modelos orientados para Leste, que apresentaram maiores índices de uniformidade no período da tarde, momento em que essa fachada não recebe insolação direta, e no período da manhã os índices foram menores. E o inverso ocorre para a fachada Oeste: maior uniformidade pela manhã e menor à tarde.

Para Leste, o modelo que apresenta maior média de uniformidade é também o Modelo 4, que possui 100% de PAF e vidro reflexivo com TL= 35%. Esse modelo tem maiores resultados no período da tarde, mais especificamente no horário de 14 horas. Já o Modelo 1, representativo dos anos de 1950 a 1979, apresentou menores resultados quando orientado para essa direção, demonstrando que edificações com vidros simples, quando orientadas para Leste, devem possuir elementos que aumentem o índice de uniformidade, como prateleiras de luz.

Quando se analisa a orientação Oeste, com entorno, os Modelos 1 e 2 apresentam resultados semelhantes, com menos de 0,5% de diferença entre si.

A fachada Norte apresenta o menor valor médio de uniformidade em relação às outras orientações. Observa-se também que o período do solstício de verão é a época do ano em que todos os modelos apresentam os melhores índices de distribuição da luz no ambiente.

A presença do peitoril opaco, nos Modelos 1, 2 e 3, gera um espaço de sombra imediatamente abaixo da janela no interior da sala. Isso acarreta áreas menos iluminadas que outras, diminuindo assim a uniformidade; ao passo que fachadas com 100% de abertura, cujo peitoril é translúcido, tendem a ter uma maior constância de distribuição da iluminância, pois a luz penetra totalmente no ambiente.

#### 4.1.3.2 Uniformidade Através Da Análise De DA

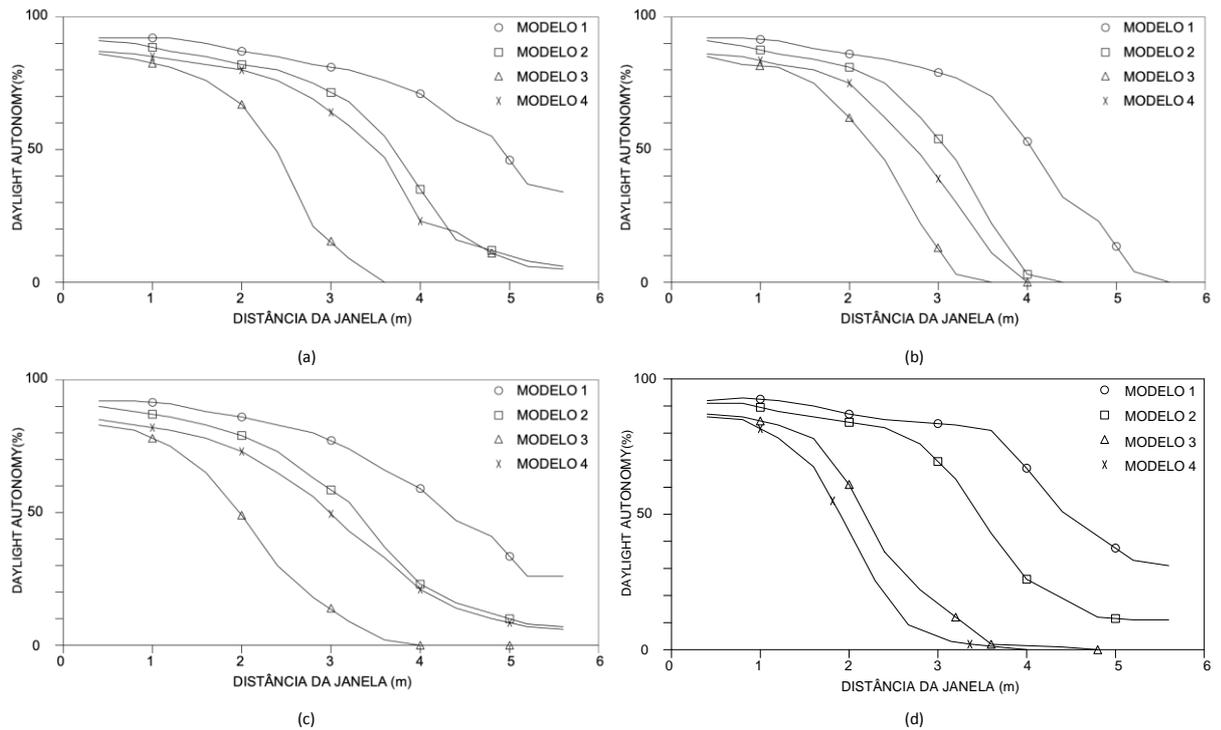
O modelo contemporâneo, com o PAF de 100% (Modelo 4), garante uma maior distribuição da luz em relação aos outros modelos. Porém, o tipo de vidro utilizado (35% de transmissão luminosa) não garante atingir o nível de uniformidade recomendado pela normativa do assunto. Segundo Pereira (2017), vidros com transmissão luminosa muito baixa, com cerca de 24% de TL, só conseguem alcançar o critério estabelecido de disponibilidade de luz natural para ambientes pouco profundos, com no máximo 8 metros de profundidade.

Contudo, observa-se que o Modelo 1 apresenta melhores resultados em relação à quantidade e à profundidade de alcance de luminosidade, através da métrica de DA, que também pode ser utilizada como indicador de uniformidade (LI ;TSANG, 2007). Essa característica está diretamente relacionada ao tipo de vidro utilizado. Para este modelo, foi usado um tipo vidro com 88% de transmissão luminosa (TL), onde elevada parcela da luz incidente é transmitida, fazendo com que grande quantidade de lux alcance distâncias maiores de profundidade em relação à janela.

O Modelo 4, que possui um vidro com alto valor de absorção luminosa, quando comparado ao vidro simples, de 88% de TL, apresenta menor alcance de profundidade da iluminação, se comparado ao Modelo 1, fazendo com que a uniformidade de DA seja menor.

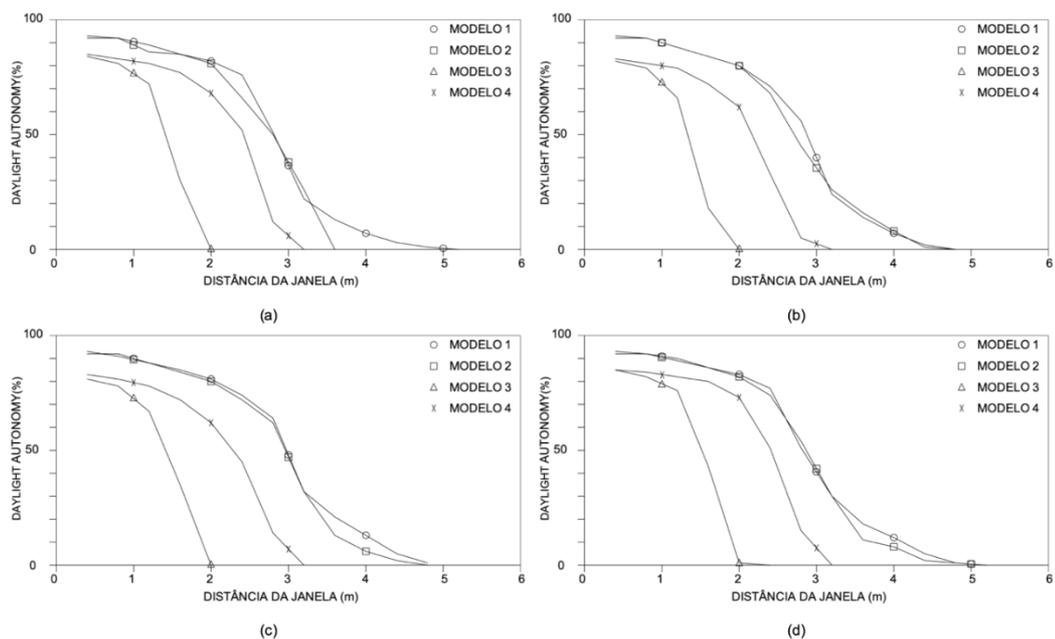
Os Gráficos 7 e 8 mostram o nível de DA em relação à profundidade da sala, comprovam a diferença de luminosidade em toda a extensão da sala e comparam o efeito de cada tipo de vidro associado ao PAF representativo daquele período.

**Gráfico 7.** Curva de decaimento da métrica de Daylight Autonomy, para simulações sem entorno, dos quatro modelos orientados para (a) Norte, (b) Sul, (c) Leste e (d) Oeste.



Fonte: AUTOR, 2020.

**Gráfico 8-** Curva de decaimento da métrica de Daylight Autonomy, para simulações com entorno, dos quatro modelos orientados para (a) Norte, (b) Sul, (c) Leste e (d) Oeste



Fonte: AUTOR, 2020.

Deve-se lembrar que a uniformidade é um fator importante, mas só possuir maior índice nesta métrica não necessariamente caracteriza uma iluminação com bom desempenho. O ambiente pode ter valores significativos de iluminâncias excessivas ou insuficientes, porém uniformes.

É notável a interferência do tipo de vidro utilizado quando é analisado o alcance e distribuição da iluminância no ambiente, já que vidros com baixos valores de transmissão luminosa diminuem a profundidade de alcance da iluminância.

Ao se analisar a curva de decaimento para a orientação Norte, é possível perceber que o Modelo 1, representativo dos anos de 1950 a 1979, alcança uma maior distância da janela e também uma maior porcentagem de DA, tanto com e sem obstrução do entorno. Isso acontece devido ao alto valor de transmissão luminosa do modelo de vidro utilizado. Pode-se perceber esse fato em todas as orientações estudadas.

As simulações dos modelos com entorno apresentam curvas mais acentuadas quando comparadas com os modelos sem obstruções, onde ao se distanciar da janela, os níveis de luz caem mais rápido do que os cenários sem entorno. Isso ocorre porque o entorno diminui a parcela de céu visível, aumentando a quantidade de sombra na sala simulada.

Entende-se que é possível analisar a uniformidade dentro de salas de escritórios de duas maneiras distintas. Observando a razão entre a iluminância mínima e média, pode-se concluir que nenhum dos modelos das simulações atingiram o mínimo recomendado pela legislação pertinente ao assunto, em decorrência da combinação entre percentual de abertura das fachadas e os modelos de vidros utilizados. Porém, a orientação Sul é a que apresenta os maiores valores entre os quatro pontos cardeais principais simulados, e a orientação Norte apresenta os menores valores médios.

Essas observações acontecem tanto para cenários com entorno quanto para sem entorno. Ao se analisar somente a orientação Sul, percebe-se que o Modelo 4, que tem vidro reflexivo e alto percentual de abertura, apresentou um desempenho mais significativo, quando comparado aos outros modelos.

Comparando os níveis de uniformidade atingidos pelas simulações aos níveis de DA alcançados, constata-se que apesar de a orientação Sul apresentar maiores

índices de uniformidade, manifesta baixos percentuais de horas simuladas acima de 500 lux, quando comparada às outras orientações.

Porém, por intermédio das curvas de decaimento da métrica de DA, percebe-se características diferentes para os modelos simulados, quando comparados à metodologia estipulada pela NBR 8995/13. O Modelo 1 alcança maiores níveis de iluminância em distâncias superiores em relação à janela. Já os Modelos 3 e 4, que são os mais contemporâneos, atingem menores distâncias com níveis de iluminância acima de 500 lux.

#### **4.1.4 Ofuscamento**

Esta seção traz a análise, por simulação computacional dinâmica, do desconforto lumínico no interior do ambiente, em virtude de ofuscamento. Buscou-se avaliar o índice de DGP, levando em consideração os valores determinados por diversos pesquisadores, como Jakubiec; Reinhart (2012), que consideram os níveis maiores que 0,45 como intoleráveis, entre 0,45 e 0,40 como perturbadores, entre 0,40 e 0,35 como perceptíveis e abaixo de 0,35 como imperceptíveis.

A Tabela 4 mostra o percentual de horas simuladas dentro dos níveis classificados como intoleráveis, ou seja, maiores que 0,45 DGP.

Observou-se que a orientação Sul não apresentou desconforto lumínico por ofuscamento em todos os quatro modelos representativos dos períodos analisados, tanto com e sem a presença de entorno obstruído. Essa é a fachada que possui a menor incidência de radiação solar direta ao longo do ano, diminuindo a necessidade de acionamento da persiana interna, aumentando assim a disponibilidade de luz natural anual.

Tabela 4- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Sul, para os quatro modelos estudados e para o cenário de com e sem obstrução.

	COM ENTORNO				SEM ENTORNO			
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Andar	Sul				Sul			
1º	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5º	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10º	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: AUTOR, 2020.

Quando os modelos são orientados com a fachada de análise para Norte, o único que apresenta simulações intoleráveis é o Modelo 1, com o vidro simples, sendo que os resultados do décimo andar demonstram aproximadamente 344 horas a mais simuladas, quando comparado ao quinto andar, que apresentou 96 horas simuladas acima de 0,45 DGP, sendo perceptível a influência da altura na métrica de ofuscamento, onde quanto mais alto é o ambiente simulado, maior a ocorrência de ofuscamento. Essas características podem ser percebidas na Tabela 5.

Tabela 5- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Norte, para os quatro modelos estudados e para o cenário de com e sem obstrução.

	COM ENTORNO				SEM ENTORNO			
	M odelo 1	M odelo 2	M odelo 3	M odelo 4	M odelo 1	M odelo 2	M odelo 3	M odelo 4
Andar	Norte				Norte			
1º	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%
5º	0%	0%	0%	0%	76%	0%	0%	0%
10º	0%	0%	0%	0%	503%	0%	0%	0%

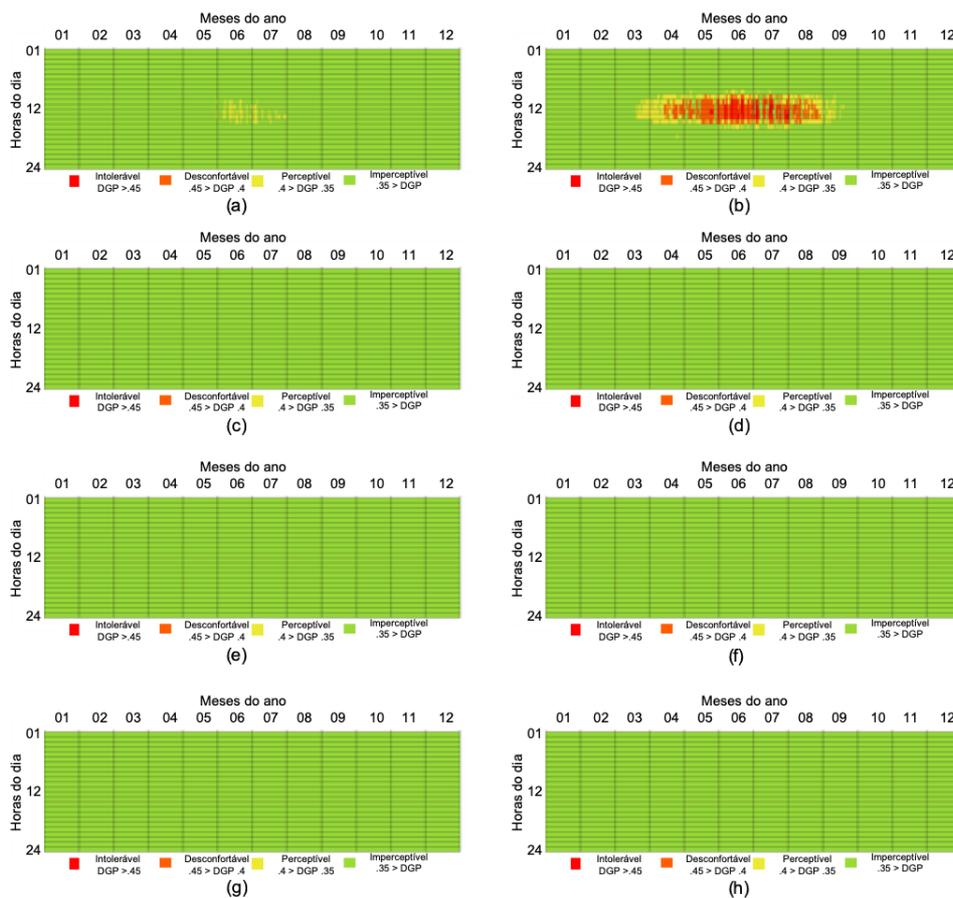
Fonte: AUTOR, 2020

Através do Gráfico 9, onde no eixo x (abscissa) aparecem os meses do ano e no eixo y (ordenada) as horas do dia, sendo as cores vermelho, laranja, amarelo e verde usadas para indicar a escala de análise de ofuscamento intolerável ( $DGP \geq 0,45$ ) até o ofuscamento imperceptível ( $DGP \leq 0,35$ ), pode-se comparar os quatro modelos e perceber a influência, principalmente do tipo de índice de transmissão luminosa do

vidro utilizado, quando analisado o ofuscamento intolerável, uma vez que o Modelo 1 apresenta vidros com alto fator de transmissão luminosa (88%), e os demais apresentam menores valores (Modelo 2= 53% e Modelos 3 e 4= 35%).

É interessante notar que os Modelos 1 e 3 apresentam o mesmo PAF de 40% e somente o primeiro modelo possui simulação dentro da faixa intolerável, reforçando o fato de que o tipo de vidro tem um significativo impacto nos resultados de desconforto luminoso por ofuscamento, dentro do ambiente interno construído. Nota-se também a concentração de horas simuladas dentro da faixa de DGP intolerável, no horário de meio-dia, e nos meses de maio, junho e julho.

Gráfico 9- Simulação de DGP para todos os quatro modelos orientados para Norte: (a) Modelo 1 com a presença de entorno, (b) Modelo 1 sem a presença de entorno, (c) Modelo 2 com a presença de entorno, (d) Modelo 2 sem a presença de entorno, (e) Modelo 3 com a presença de entorno, (f) Modelo 3 sem a presença de entorno, (g) Modelo 4 com a presença de entorno, (h) Modelo 4 sem a presença de entorno.



Fonte: AUTOR, 2020.

Para a orientação Leste, a interferência do entorno é uma característica marcante. De acordo com a Tabela 6, o ofuscamento chega a ser próximo a 8 vezes maior quando não há presença de entorno, se comparado às simulações com entorno obstruído.

Os Modelos 1 e 4, no 10º pavimento, com entorno, são os que mais possuem ofuscamento, cerca de 4,07% e 3,85%, respectivamente, considerando as horas simuladas com DGP acima de 0,45. Nos dois modelos ocorre uma acentuada diminuição de percentual de horas dentro do intervalo de ofuscamento, quando comparados aos andares inferiores. Já para as simulações sem entorno, os valores se mantêm próximos para todos os andares, variando apenas cerca de 0,10%.

Tabela 6- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Leste, para os quatro modelos estudados e para o cenário de com e sem obstrução.

	COM ENTORNO				SEM ENTORNO			
	M odelo 1	M odelo 2	M odelo 3	M odelo 4	M odelo 1	M odelo 2	M odelo 3	M odelo 4
andar	Leste				Leste			
1º	0,57%	0,0%	0,05%	0,52%	7,99%	2,14%	1,33%	6,26%
5º	0,53%	0,0%	0,04%	0,57%	7,81%	2,06%	1,33%	6,23%
10º	4,07%	0,1%	1,01%	3,85%	7,88%	2,10%	1,33%	6,21%

Fonte: AUTOR, 2020.

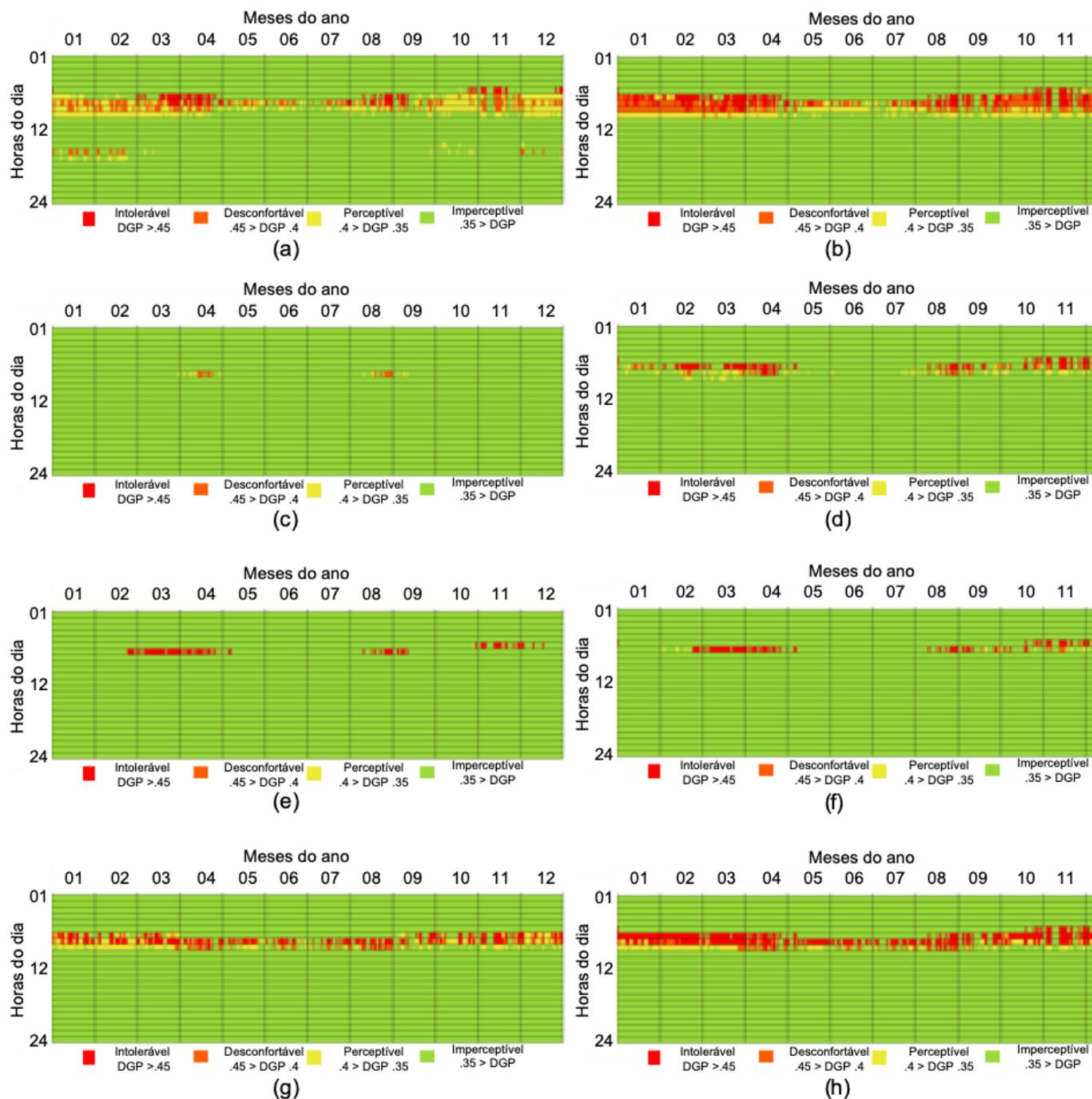
Sem a presença do entorno, todos os modelos orientados para Leste apresentaram percentuais de horas simuladas dentro da faixa intolerável, sendo que os modelos 1 e 4 são os mais afetados. Isso se deve ao tipo de vidro que foi utilizado no primeiro modelo e ao grande percentual de abertura do quarto modelo.

Com a presença do entorno, os Modelos 2 e 3, com vidro bronze e 50% de PAF, apresentam poucos momentos de DGP acima de 0,54, cerca de 0,1% e 1% respectivamente.

Através do Gráfico 10, ainda analisando o direcionamento Leste, pode-se perceber que grande parte das horas simuladas acima de 0,45 DGP aconteceram no período matutino, por ser a orientação que recebe sol da manhã. Nota-se também que, nos meses de maio e junho, o percentual de horas simuladas com conforto intolerável é menor em todos os modelos, com e sem a presença do entorno. Isso é

reflexo da maior concentração de céu encoberto, nessa época do ano, na cidade de Vitória.

Gráfico 10- Simulação de DGP para todos os quatro modelos, orientados para Leste: (a) Modelo 1 com a presença de entorno, (b) Modelo 1 sem a presença de entorno, (c) Modelo 2 com a presença de entorno, (d) Modelo 2 sem a presença de entorno, (e) Modelo 3 com a presença de entorno, (f) Modelo 3 sem a presença de entorno, (g) Modelo 4 com a presença de entorno, (h) Modelo 4 sem a presença de entorno.

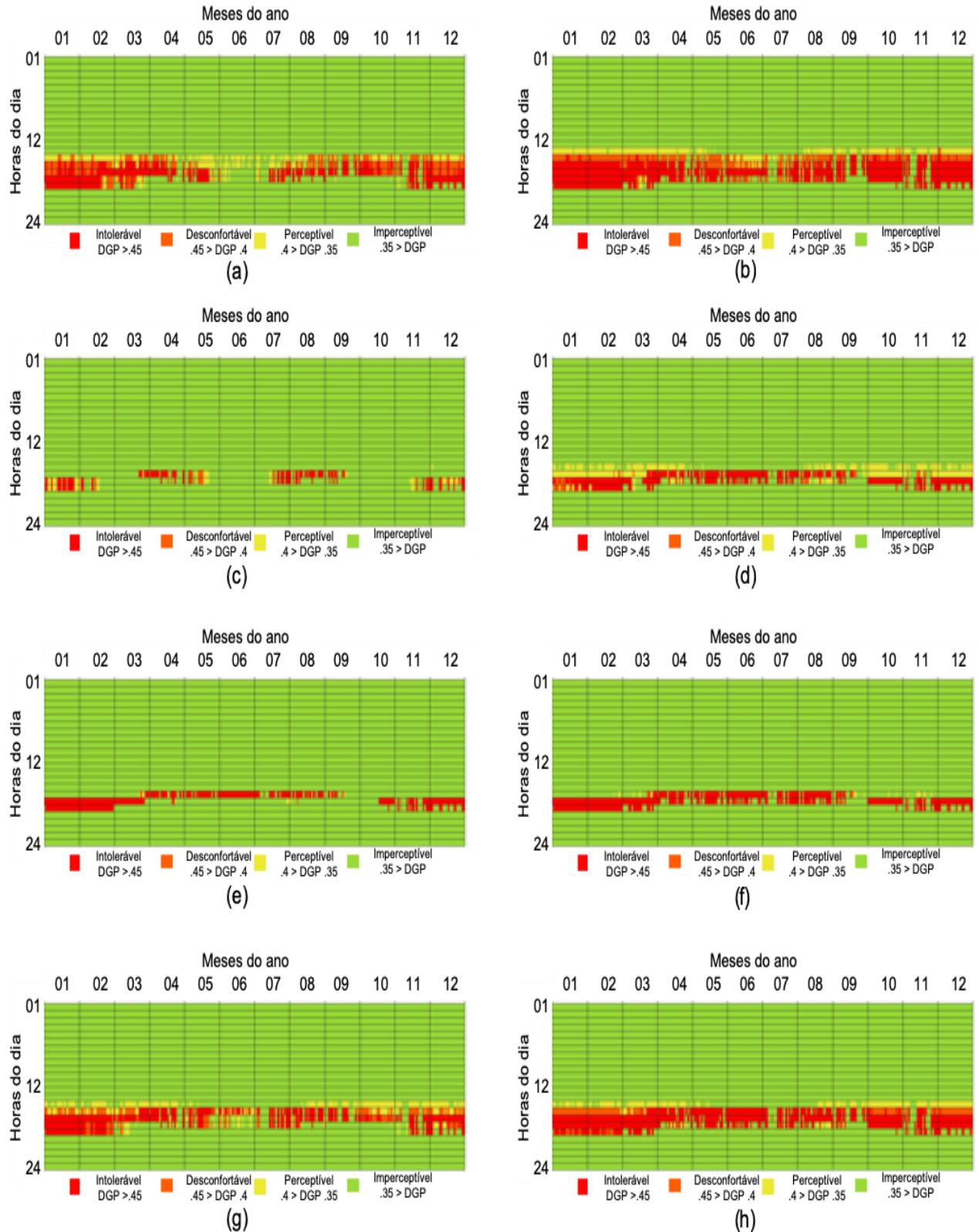


Fonte: AUTOR, 2020.

As simulações de ofuscamento foram feitas de modo dinâmico, com período de ocupação estipulado das 08h até as 18h. Sendo assim, a maior parte das horas ocupadas e simuladas ocorrem no período da tarde, o que justifica o fato dessa orientação apresentar maiores percentuais de horas simuladas dentro da faixa de ofuscamento intolerável e a orientação Leste menores percentuais quando comparada à Oeste.

Sem a presença de obstrução por parte do entorno, as simulações para Oeste apresentaram níveis intoleráveis de ofuscamento, chegando a ser 14 vezes superior em alguns casos. O Modelo 1 foi o que apresentou maior percentual de horas simuladas dentro da faixa de DGP acima de 0,45, cerca de 1278 horas no ano. Os Modelos 2 e 3 tiveram praticamente os mesmos percentuais de horas simuladas, cerca de 5,26% para o Modelo 2 e 5,81% para o Modelo 3. Já o quarto modelo, que possui 100% de PAF, apresentou também grande parte das horas simuladas com ofuscamento, cerca de 1016 horas anuais. Essas características podem ser percebidas pelo Gráfico 11, que mostra uma simulação de DGP para todos os modelos orientados para Leste.

Gráfico 11- Simulação de DGP para todos os quatro modelos, orientados para Oeste: (a) Modelo 1 com a presença de entorno, (b) Modelo 1 sem a presença de entorno, (c) Modelo 2 com a presença de entorno, (d) Modelo 2 sem a presença de entorno, (e) Modelo 3 com a presença de entorno, (f) Modelo 3 sem a presença de entorno, (g) Modelo 4 com a presença de entorno, (h) Modelo 4 sem a presença de entorno.



Fonte: AUTOR, 2020.

Ainda analisando as simulações para a orientação Oeste, as características dos resultados se mantêm para as simulações com entorno, porém são mais brandas (Tabela 7). Enquanto a média de percentual de horas simuladas dentro da faixa de ofuscamento para os modelos sem entorno são de 14,6%, 5,25%, 5,81% e 11,10%, respectivamente para os Modelos 1, 2, 3 e 4, na presença de entorno obstruído, esses valores reduzem para 1,72%, 0%, 0,37% e 1,65%, respectivamente.

O Modelo 1 apresenta a maior redução quando analisado o décimo pavimento, com 840 horas simuladas; já para o quinto e o primeiro pavimentos, esses valores caem para 184 e 182 horas, respectivamente. Os Modelos 2 e 3 apresentaram valores percentuais próximos, variando 1 ou 2% com entorno, e em média 0,5% sem entorno. O último modelo, com 100% de PAF, registra grandes percentuais de horas simuladas com ofuscamento, quando comparado aos modelos com a combinação de baixo PAF e vidros com reduzidos percentuais de transmissão da luz visível, que são os Modelos 2 e 3.

Tabela 7- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Oeste, para os quatro modelos estudados e para o cenário de com e sem obstrução.

	COM ENTORNO				SEM ENTORNO			
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Andar	Oeste				Oeste			
1º	2,08%	1,19%	2,35%	1,94%	14,72%	5,26%	5,81%	11,11%
5º	2,10%	1,19%	2,69%	3,03%	14,63%	5,17%	5,81%	11,09%
10º	9,68%	2,26%	4,22%	8,28%	14,44%	5,31%	5,80%	11,10%

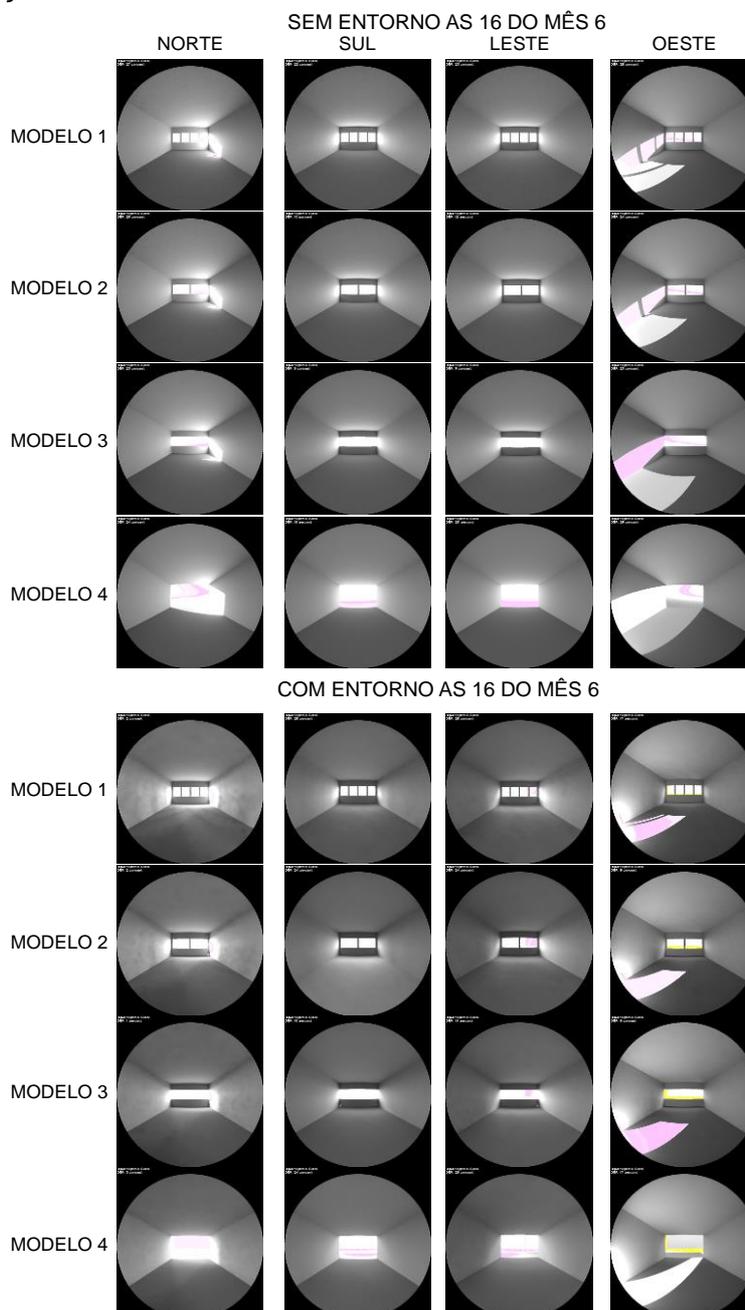
Fonte: AUTOR, 2020.

No que diz respeito ao ofuscamento, pode-se afirmar que a orientação Oeste é a que sofre com a maior quantidade de horas simuladas dentro da faixa intolerável de DGP, sendo o Modelo 1 e o 4 os mais afetados dentre todos os estudados, tanto com e sem a presença do entorno obstruído. Fica evidente a interferência do entorno nas simulações, uma vez que o percentual simulado para o último andar é significativamente maior quando comparado aos andares mais baixos. Vale ressaltar que a orientação Sul não apresenta simulações dentro da faixa intolerável.

Através das Figuras 18 e 29, pode-se perceber a maior presença de ofuscamento na orientação Oeste no período das 16 horas, que manchas de DGP

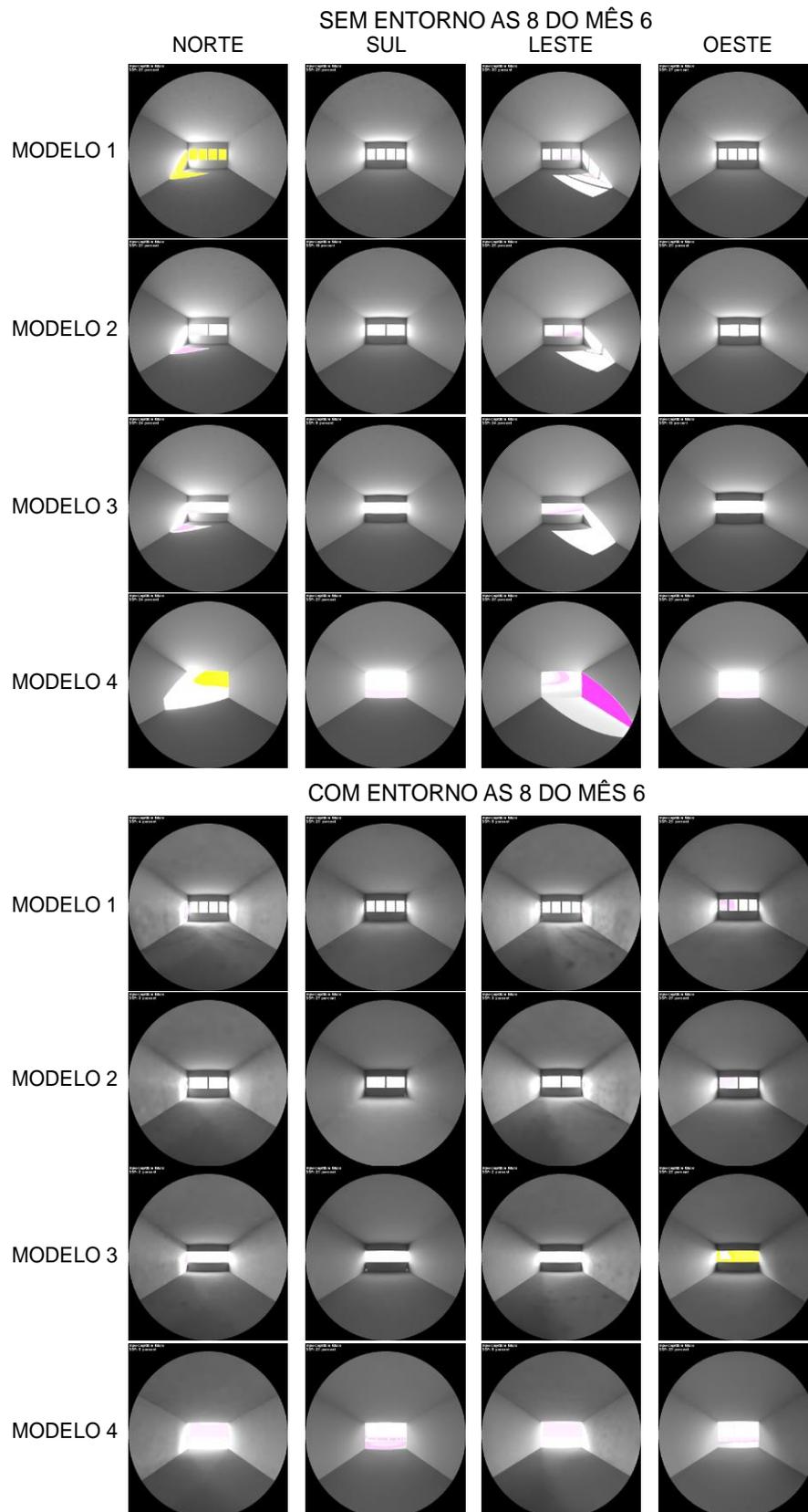
intolerável permeiam o piso e uma das paredes da sala, que há uma pequena presença de ofuscamento no piso e também na parede na orientação Norte. É notável também a influência do entorno nas simulações de ofuscamento, visto que a presença dos edifícios vizinhos minimiza essa métrica. No período das 8 horas da manhã, as mesmas características são encontradas, porém na orientação Leste, direção onde nasce o sol na cidade de Vitória - ES.

Figura 18- Imagens renderizadas de todos os quatro modelos, orientadas para todas as quatro orientações, no período das 16 horas do mês de junho, com e sem a presença de entorno.



Fonte: AUTOR, 2020.

Figura 19- Imagens renderizadas de todos os quatro modelos, orientadas para todas as quatro orientações, no período das 8 horas, com e sem a presença de entorno.



Fonte: AUTOR, 2020.

#### **4.1.5 Síntese Das Métricas Analisadas Para Os Modelos Representativos De Diferentes Períodos**

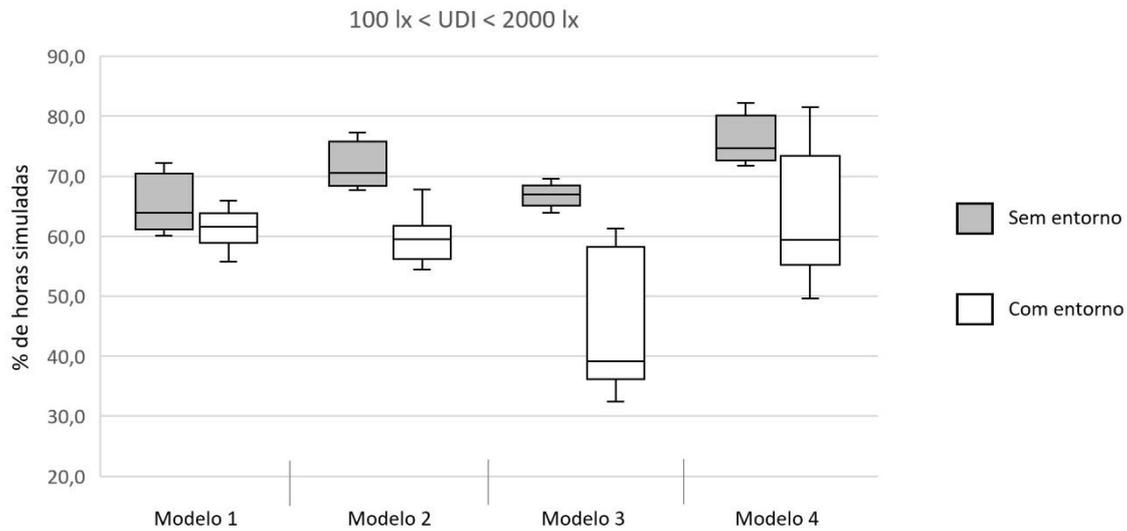
Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que, no geral, uma composição entre altos valores para o PAF e tipos de vidros com baixos percentuais de TL proporcionam melhor equilíbrio entre os valores de UDI, DA, Uniformidade e Ofuscamento. Porém, a orientação da fachada pode interferir nos resultados, fazendo com que seja necessário variar algumas características do envoltório.

Ao se comparar um mesmo modelo sem a presença de edificações vizinhas com seu similar com entorno obstruído, percebe-se um decaimento nos níveis de iluminância útil. Os modelos com a obstrução configurada nas simulações apresentaram uma média de 18,1% a menos de horas dentro do intervalo de iluminância útil.

Como observado na Gráfico 12, o edifício mais impactado pela presença do entorno foi o Modelo 4, que apresentou redução de 33,6%; enquanto no Modelo 1, observa-se uma diminuição de apenas 4,8% de horas simuladas dentro do intervalo de iluminância útil. Os edifícios configurados com vidro de menor transmitância à luz visível foram os mais influenciados pelo entorno, apresentando também as maiores variações percentuais entre os resultados de uma mesma tipologia.

Neste gráfico, abrangeu-se toda a faixa útil de UDI, a fim de atingir uma maior parcela de iluminância incidente.

Gráfico 12- Os quatro modelos, com e sem entorno, em uma média geral de todas as orientações.

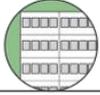
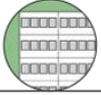
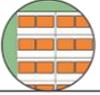
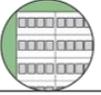
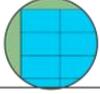
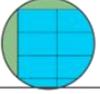
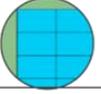
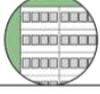
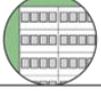
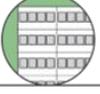
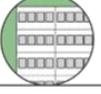
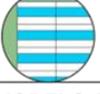
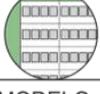
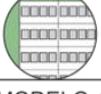
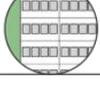
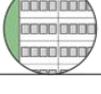
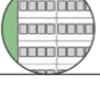
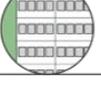


Fonte: AUTOR, 2020.

Através da Tabela 8, pode-se entender quais modelos possuem maiores valores ideais para cada orientação e para cada métrica estipulada. Ou seja, observa-se que o Modelo 1 foi o que melhor apresentou índices de UDI acima de 100 lux (UDI <100 é considerado insuficiente), em relação à presença ou não de entorno e fachada principal Norte; enquanto para a orientação de fachada Sul, o Modelo 2 apresentou os melhores valores de UDI acima de 100 lux.

Nas faixas de UDI < 100 e UDI > 2000, os modelos representados na Tabela 8 apresentam menores percentuais dentro dessas faixas, sendo avaliados como mais interessantes, uma vez que simulações com UDI inferior a 100 lux são consideradas insuficientes e acima de 2000 lux são consideradas excessivas.

Tabela 8- Modelos com melhores valores ideais para cada métrica estudada, quando orientados para Norte e para Sul, tanto com e sem a presença de entorno obstruído.

	NORTE		SUL	
	COM ENTORNO	SEM ENTORNO	COM ENTORNO	SEM ENTORNO
UDI <100	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 2 	MODELO 1 
UDI 100-500	MODELO 4 	MODELO 3 	MODELO 4 	MODELO 4 
UDI 500-2000	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 
UDI >2000	MODELO 3 	MODELO 3 	MODELO 3 	MODELO 3 
DA	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 2 	MODELO 1 
UNIFORMIDADE	MODELO 4 	MODELO 4 	MODELO 4 	MODELO 4 
OFUSCAMENTO	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 

Fonte: AUTOR, 2020.

Percebe-se que não existe um modelo de abertura de fachada ideal que atenda a todas as orientações. Quando direcionado para Norte, o Modelo 1 apresenta maiores valores ideais em um maior número de métricas, quando comparado aos outros três modelos. Já para o Sul, considerando a presença de entorno, os Modelos 2 e 3 apresentam maiores valores em uma maior quantidade de métricas, quando comparados aos Modelos de prédio 1 e 4. Já para as direções Leste e Oeste, através da Tabela 9, é possível visualizar que o Modelo 1 apresenta também os maiores resultados em um maior número de métricas, tanto com e ou sem a presença do entorno obstruído.

Nas faixas de UDI < 100 e UDI > 2000, os modelos representados na Tabela 9 apresentaram menores percentuais dentro dessas faixas, sendo avaliados como mais

interessantes, uma vez que simulações com UDI inferior a 100 lux são consideradas insuficientes e acima de 2000 lux são consideradas excessivas.

Tabela 9- Modelos com melhores valores ideais para cada métrica estudada, quando orientados para Leste e para Oeste, tanto com e sem a presença de entorno obstruído.

	LESTE		OESTE	
	COM ENTORNO	SEM ENTORNO	COM ENTORNO	SEM ENTORNO
UDI <100	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 
UDI 100-500	MODELO 4 	MODELO 3 	MODELO 4 	MODELO 3 
UDI 500-2000	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 
UDI >2000	MODELO 3 	MODELO 3 	MODELO 3 	MODELO 3 
DA	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 
UNIFORMIDADE	MODELO 4 	MODELO 4 	MODELO 4 	MODELO 4 
OFUSCAMENTO	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 	MODELO 1 

Fonte: AUTOR, 2020.

#### 4.2 DESEMPENHO LUMÍNICO EM AMBIENTE INTERNO, CONSIDERANDO MODELOS QUE VARIAM NOS SEGUINTE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS: PERCENTUAL DE ABERTURA DA FACHADA (PAF), TIPO DE VIDRO E PRESENÇA OU NÃO DE BRISES

Nesta etapa da pesquisa, será apresentada a análise e a discussão dos resultados obtidos através das simulações computacionais para uma sala de trabalho, considerando cinco modelos de edifícios de escritórios (M1A, M2A, M3A, M4A e M5A),

formados a partir dos modelos dos edifícios representativos de diferentes períodos e variando a presença e a tipologia dos seguintes elementos construtivos: PAF (40, 50, 70 e 100%), tipo de vidro (incolor com TL de 88%, bronze com TL de 53% e reflexivo com TL de 35%) e presença ou não de brises horizontais. O objetivo é investigar a influência desses elementos construtivos, visando ao melhor desempenho lumínico em ambiente interno de trabalho, na cidade de Vitória - ES.

As simulações foram realizadas em todos os dias do ano, considerando o entorno obstruído e a fachada principal com orientação Norte, em três alturas diferentes (1°, 5° e 10° pavimento) e presença ou não de brises. A orientação Norte foi definida em virtude das análises realizadas na seção 4.1., cujos resultados apontam ser a orientação que mais apresenta variação das métricas de desempenho luminoso.

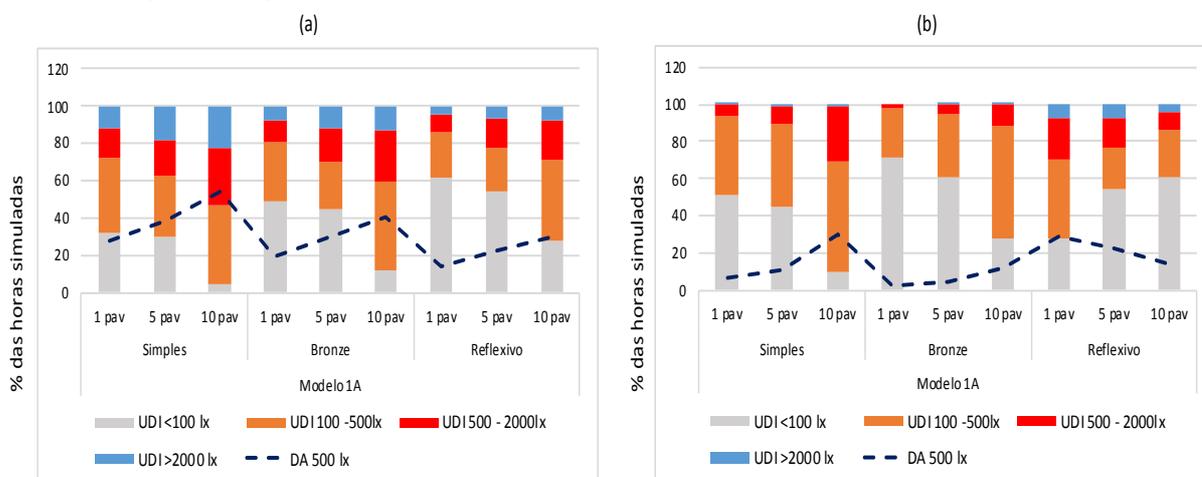
#### **4.2.1 Análise da UDI e da DA dos modelos**

As informações a respeito da UDI nesta etapa também foram separadas em faixas, onde menos de 100 lux é considerado insuficiente; entre 100 e 500 lux é considerado aceitável, porém necessária a utilização de luz artificial em alguns momentos; entre 500 e 2000 lux é considerado ideal; e acima de 2000 lux é considerado inaceitável, por configurar a ocorrência de ofuscamento.

O Modelo 1A caracteriza-se por um PAF de 40%, alternando a utilização de três tipos de vidro: o vidro simples (com 88% de TL), o bronze (com 53% de TL) e o reflexivo (com 35% de TL). Para cada situação, investigou-se o impacto da utilização ou não de sombreadores.

O Gráfico 13 apresenta todas as simulações feitas para o Modelo 1A, sintetizando as informações de UDI e de DA.

Gráfico 13- Gráfico de UDI e DA para o Modelo 1A com vidro simples, bronze e reflexivo, orientado para Norte, (a) sem a presença de brises e (b) com a presença de brises, para os pavimentos 1º, 5º e 10º.



Os resultados mostram um aumento do percentual de horas simuladas dentro da faixa de UDI inferior a 100 lux com a utilização do vidro bronze (TL= 53%) e reflexivo (TL= 35%), em relação à utilização do vidro simples (TL= 88%), apresentando com o vidro simples 22%, com o vidro bronze 35,1% e com o vidro reflexivo 47,7% das horas simuladas. Nota-se que, sem a presença de sombreador, quanto menor for a capacidade de transmitância da luz visível de um vidro, maiores são as horas simuladas dentro da faixa de UDI menor que 100 lux.

Com a utilização de brises, os valores de UDI na faixa inferior a 100 lux aumentam consideravelmente, sendo o modelo com o vidro bronze estudado o que apresenta maior impacto no percentual de horas simuladas dentro dessa faixa, na presença do dispositivo de sombreamento, cerca de 53,6%, e o vidro simples e reflexivo apresentam 35,4% e 47,7%, respectivamente.

Na faixa de UDI entre 100 e 500 lux, as simulações sem a presença de sombreadores seguiram a mesma tendência da faixa de UDI menor que 100 lux, ou seja, apresentaram resultados onde o vidro reflexivo, com menor percentual de transmissão luminosa, atingiu os menores valores, quando comparado ao vidro com maior percentual de TL, sendo 38,1% para o vidro simples, 35,1% para o bronze e 30,2% para o reflexivo. Quando se acrescenta brises externos à abertura, o caimento se mantém, ficando o vidro simples com 48,7%, o vidro bronze com 40,2%, e o vidro reflexivo com 30,2%.

Na faixa considerada ideal, que vai de 500 a 2000 lux, o vidro simples, estudado sem a presença de brises, apresenta o melhor desempenho, com 21,9%. Já os outros dois modelos de vidros, também sem a presença de brises, mostram valores menores, sendo 19% e 15,8%, respectivamente para o bronze e o reflexivo.

Com a presença dos brises, o maior resultado aparece para o vidro reflexivo, 15,8% das horas simuladas dentro dessa faixa, provavelmente por diminuir a iluminância excessiva e aumentar a iluminância na faixa ideal. Os vidros simples e bronze apresentam 15,2% e 6,1%, respectivamente. Nota-se uma proximidade dos resultados entre os modelos de vidro simples e reflexivo, cerca de 0,6%, quando simulados com brises; porém, sem a presença desses elementos, os valores de UDI sobem para uma diferença de 6,1%.

A utilização de vidros simples e bronze, associada a sombreadores externos, no Modelo 1A, simulou poucas horas dentro da faixa de iluminância excessiva (UDI acima de 2000 lux), cerca de 0,6% para o vidro simples, 0,1% para o vidro bronze e 0% para o vidro reflexivo. Entretanto, sem o elemento externo na fachada, os valores aumentam, sendo 17,8% para o vidro simples, 10,8% para o vidro bronze e 6,2% para o vidro reflexivo.

A iluminância excessiva pode fazer com que a utilização de persianas internas seja acionada mais vezes durante o ano. Observa-se na análise do Modelo 1A, com 40% de PAF, o fato do impacto do uso de sombreadores, auxiliando na redução da iluminância excessiva, também influenciar no percentual de iluminância insuficiente no recinto.

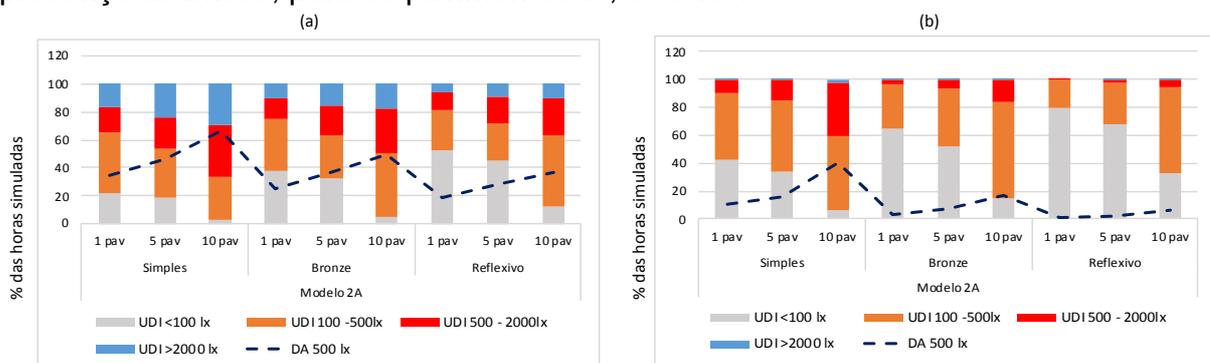
O maior índice de DA para o Modelo 1A, sem brises, foi simulado quando acrescentado o vidro simples, 39,7%. É importante constatar também que esse tipo de vidro apresenta maior percentual de horas simuladas acima de 2000 lux, aumentando a probabilidade de ofuscamento. Porém, quando são acrescentados os brises, o modelo com vidro reflexivo é o que demonstra melhor resultado: 22%, enquanto os outros modelos apresentaram 15,8% e 6,2%, respectivamente para vidro simples e vidro bronze.

O segundo modelo (Modelo 2A), que possui 50% de PAF e originalmente vidros bronze com 53% de TL, também foi simulado com os vidros reflexivos e simples, com e sem a presença de brises.

Através do Gráfico 14, é possível perceber um caimento no percentual de DA do vidro simples até o reflexivo, passando pelo bronze, sendo que as simulações sem brises para o primeiro vidro possuía 49,2% das horas simuladas acima de 500 lux (DA), o bronze 37,1% e o reflexivo 27,9%. Ao acrescentar os brises nas simulações, os valores de DA diminuem, pois esses elementos externos à fachada ajudam a diminuir a incidência direta de radiação solar, reduzindo, conseqüentemente, os níveis de iluminância no interior dos ambientes. Assim, os valores de DA, quando simulados com brises, foram de 22,1%, 9,0% e 2,9%, respectivamente para os vidros simples, bronze e reflexivo.

Para a faixa de UDI menor do que 100 lux, o Modelo 2A apresenta um aumento dos resultados ao executar simulações com vidros de menor transmissão luminosa. Sem os brises, os valores para essa faixa de UDI são de 14,2% (vidro simples), 25,2% (vidro bronze) e 36,4% (vidro reflexivo). Já com a inserção dos brises, ocorre um aumento no percentual, uma vez que o interior do ambiente apresenta maior quantidade de sombra causada pelos brises. Os valores chegam a 27,3% (vidro simples), 43,6% (vidro bronze) e 59,9% (vidro reflexivo).

Gráfico 14.- Gráfico de UDI e de DA para o Modelo 2A com vidro simples, bronze e reflexivo, orientado para Norte, (a) sem a presença de brises e (b) com a presença de brises, para os pavimentos 1º, 5º e 10º.



Fonte: Autor, 2020.

Os percentuais de horas simuladas dentro da faixa ideal de UDI entre 500 e 2000 lux, sem brises, seguem diminuindo ao aumentar a TL, uma vez que para o vidro simples foi simulado 26,2%, 22,6% para o vidro bronze e 19,2% para o vidro reflexivo. Com a presença de brises, esses valores caem significativamente, principalmente na utilização de vidros bronze (9,0%) e reflexivo (2,9%), sendo o vidro simples (21,2%) o que sofreu o menor impacto com a utilização de dispositivo de sombreamento nesse

modelo de estudo. Entende-se que, para o Modelo 2A, o melhor resultado na faixa considerada ideal de UDI é atribuído ao uso de vidro simples na abertura e sem sombreadores externos, uma vez que apresenta maior percentual de horas simuladas.

Para a faixa de UDI menor que 100 lux, os resultados aumentam ao diminuir a TL dos vidros, sendo 14,5% para o vidro simples, 25,2% para o bronze e 36,4% para o reflexivo, sem brises. Com sombreadores, esses valores sobem para 27,3%, 43,6% e 59,9%, respectivamente. Essas características são reflexo da diminuição do percentual de transmissão luminosa dos vidros associada ao dispositivo de proteção, aumentando, portanto, o percentual de UDI nessa faixa.

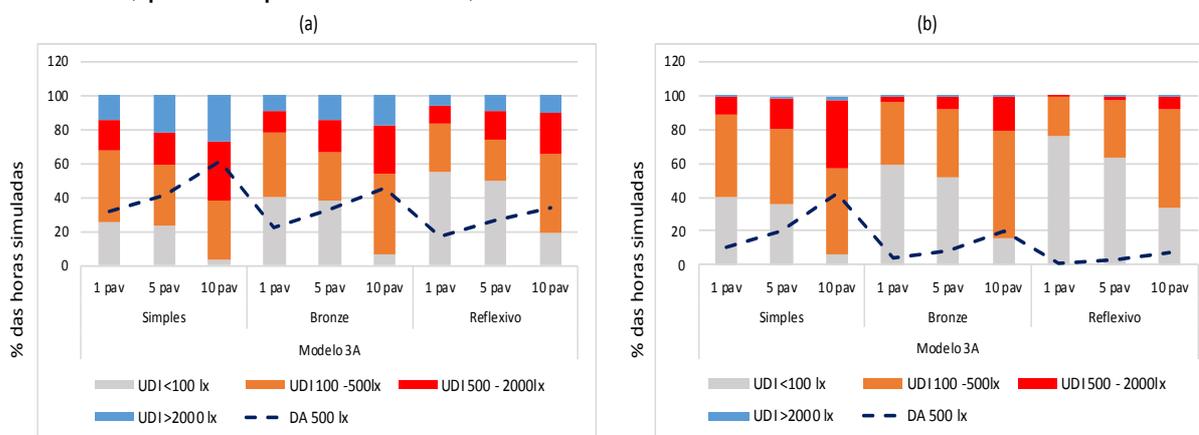
É importante notar que, no primeiro e quinto pavimentos do Modelo 2A, os maiores valores simulados para UDI (entre 500 e 2000 lux) e DA aparecem quando simulados sem brises e com vidro simples. No primeiro pavimento, os valores registrados foram de 18,4% (UDI) e 34,6% (DA); já no quinto pavimento, os percentuais foram de 22,4% (UDI) e 46,1% (DA).

No décimo pavimento, o vidro simples apresenta maiores resultados. Porém, para a métrica de UDI, a simulação com brises apresenta cerca de 40,71%. Para DA, o vidro simples sem brises se mantém com 66,8%.

O Modelo 3A, derivado do modelo representativo do período contemporâneo (dos anos 2000 a 2016), com percentual de abertura de 40%, apresentou os maiores valores para a métrica DA, cerca de 44,8%, quando simulado sem a presença de brises e com o vidro simples. Já na presença de sombreadores externos, esse valor cai para 24,4%, porém continua sendo o mais alto valor simulado na faixa de DA, em comparação com as simulações dos Modelos 1A e 2 A (Gráfico 15).

A utilização do vidro simples no Modelo 3A resultou em uma grande porcentagem de horas simuladas acima do mínimo estipulado pela NBR 9885/13, para a métrica de DA; embora também tenha obtido nessa mesma situação o maior percentual de horas simuladas acima de 2000 lux (21% sem brises e 1,4% com brises), em comparação com os Modelos 1A e 2A.

Gráfico 15- Gráfico de UDI e de DA para o Modelo 3A com vidro simples, bronze e reflexivo, orientado para Norte, (a) sem a presença de brises e (b) com a presença de brises, para os pavimentos 1º, 5º e 10º.



Fonte: AUTOR, 2020.

Com relação à faixa de UDI ideal (entre 500 e 2000 lux), as porcentagens de horas simuladas com os três tipos de vidros em questão, com e sem a presença de sombreadores externos, foram inferiores quando comparadas à faixa entre 100 e 500 lux, fazendo com que provavelmente o usuário necessite de complementação de iluminação artificial em maior parte do tempo. Quando utilizado o vidro simples e sem brises, em média 23,8% das horas ocupadas, o usuário não precisará usar iluminação artificial, pois os valores de lux se mantêm dentro de 500 a 2000 lux; e com a presença de brises, esse valor diminui para aproximadamente 23%.

Nota-se que nesse modelo a redução da UDI na faixa ideal em função da utilização de brises é de 0,8%, o que demonstra que o uso de elementos sombreadores pode ser importante do ponto de vista do conforto térmico em regiões de clima tropical quente, uma vez que o impacto no desempenho lumínico não é significativo. Já com o vidro bronze e reflexivo do Modelo 3A, os valores são de 20,1% (vidro bronze) e 17,5% (vidro reflexivo), sem a presença de brises, e 10,8% (vidro bronze) e 3,7% (vidro reflexivo), com a presença de brises.

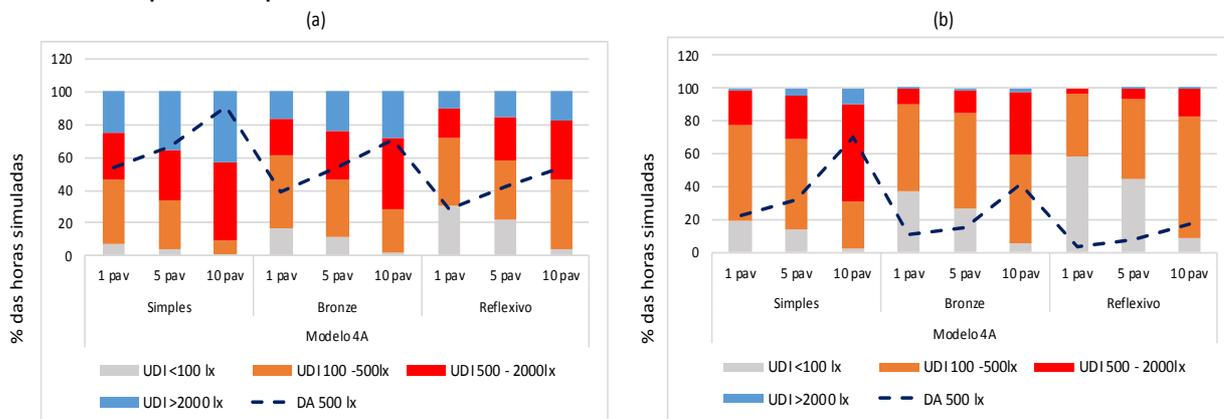
Ao se analisar o Modelo 3A, a partir dos pavimentos simulados, pode-se perceber que, no pavimento mais baixo (primeiro pavimento), os valores simulados para a faixa de UDI entre 500 e 2000 lux e para DA foram superiores com os vidros simples e sem brises, sendo 18,3% para UDI e 32,2% para DA. No quinto pavimento, a faixa de UDI ideal se manteve a mesma tanto para o vidro simples quanto para o vidro bronze, ambos sem brises (18,9%).

Para a métrica de DA, o vidro simples, sem brises, possui 40,9% das horas simuladas no décimo pavimento, sendo o valor mais elevado de DA entre os tipos de vidros simulados nesta altura. Ainda no andar mais alto, o vidro simples com brises possui 39,5% das simulações de UDI entre 500 e 2000.

O Modelo 4A, oriundo do segundo modelo do período dos anos de 2000 a 2016, com 100% de Percentual de Abertura de Fachada, quando simulado com orientação para Norte e sem brises, apresenta altos valores para a métrica de DA, com vidro simples, cerca de 70% das horas simuladas atingiram o mínimo estipulado pela NBR 8995/13. Já com o vidro bronze e reflexivo, as porcentagens de horas simuladas de DA alcançaram 54,4% e 41,3%, respectivamente. Com a presença de sombreadores externos, os valores se mantêm mais altos nas simulações com vidro simples, 41,1%, e os vidros bronze e reflexivos apresentam 22,1% e 9,3%, respectivamente.

Através do Gráfico 16, pode-se comparar as simulações de UDI e DA para o Modelo 4A, com e sem a presença de brises.

Gráfico 16- Gráfico de UDI e DA para o Modelo 4A com vidro simples, bronze e reflexivo, orientado para Norte, (a) sem a presença de brises e (b) com a presença de brises, para os pavimentos 1º, 5º e 10º.



Fonte: AUTOR, 2020.

Altos valores de iluminância acima de 500 lux é interessante, pois minimizam a utilização de iluminação artificial. Porém, quando não há elementos externos de proteção que funcionem como reguladores da iluminação direta, pode-se acarretar em grandes percentuais de horas simuladas na faixa acima de 2000 lux, ocasionando um excesso de iluminação. Pode-se perceber esse fato através da porcentagem significativa de horas simuladas na faixa de UDI acima de 2000 lux, atingido principalmente nas simulações com o vidro simples de 88% de TL, chegando a 34,3%

das horas. Já os resultados com a utilização de vidro bronze (53% de TL) e reflexivo (35% de TL) apresentam 22,9% e 14,3%, respectivamente. Quando se acrescentam os brises, os valores de UDI acima de 2000 lux diminuem consideravelmente, indo para 5,2%, 1,0% e 0,2%, respectivamente para os vidros simples, bronze e reflexivo.

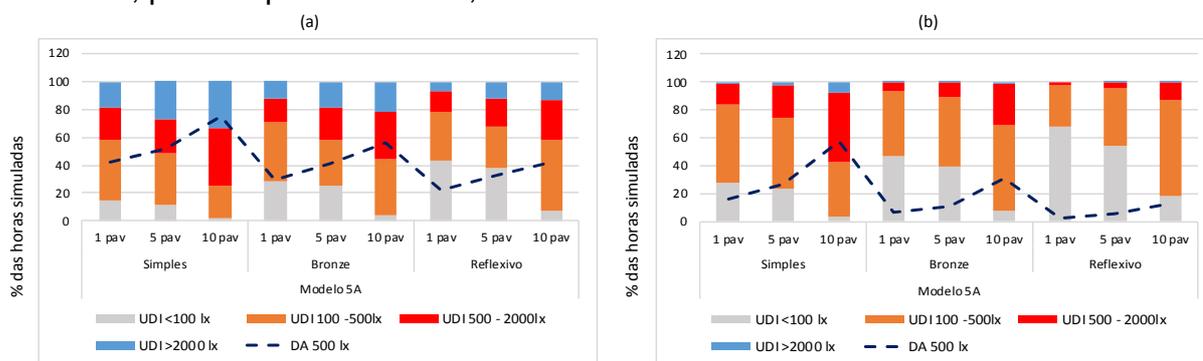
De fato, o uso de dispositivos de proteção pode ser fundamental tanto no controle da radiação térmica incidente quanto como regulador da iluminação direta.

Por outro lado, os valores para UDI inferiores a 100 lux são maiores para o vidro reflexivo quando associado ao uso de brises, cerca de 37,3%, e variam em torno de 11,6% para o vidro simples e 22,9% para o vidro bronze. Entende-se que não é interessante possuir elevados percentuais de horas simuladas nessa faixa (UDI menor que 100 lux), pois aumenta a necessidade de acionar iluminação artificial.

Ao se analisar somente o percentual de DA e a faixa de UDI dentro de 500 e 2000 lux (intervalo que não necessita de iluminação artificial), percebe-se que o Modelo 4A apresentou melhores resultados quando as simulações foram realizadas com vidro simples, cerca de 70% para DA e 35,8% para UDI, sem os brises. Com a presença dos brises, os valores de DA foram de 41,1% e, para a mesma faixa de UDI, 35,9%. Em ambos os casos, essas duas combinações apresentam elevados valores de iluminância excessiva.

O quinto modelo, Modelo 5A, com 70% de PAF, apresentou melhores resultados para DA quando simulado sem a presença de brises e com vidro simples, cerca de 56,2%. Com a presença de brises, esse percentual cai para 33,1%. Ao se analisar a faixa de UDI inferior a 100 lux, as simulações com vidro reflexivo apresentam maior percentual (29,2%), pois esse tipo de vidro possui menor transmissão luminosa. Ao unir baixa TL e os brises, esses valores aumentam, chegando a 46,9%, corroborando com os demais resultados encontrados nas simulações dos outros quatro modelos (Gráfico 17).

Gráfico 17- Gráfico de UDI e de DA para o Modelo 5A com vidro simples, bronze e reflexivo, orientado para Norte, (a) sem a presença de brises e (b) com a presença de brises, para os pavimentos 1º, 5º e 10º.



O maior percentual de horas simuladas na faixa ideal de UDI, que varia entre 500 e 2000 lux, aparece na simulação para o vidro simples, com e sem a presença de brises. Porém, quando analisamos a faixa de UDI entre 100 e 500 lux, o vidro bronze apresenta melhores resultados, sendo 38,9% sem brises e 52,5% com a presença de brises.

Verificando os resultados por diferença de pavimentos, como esperado, tem-se que, de uma forma geral, os pavimentos inferiores sem brises possuem maiores índices de UDI inferior a 100 lux, uma vez que todas as simulações foram feitas com entorno, o que provoca sombra nos pavimentos mais baixos. É importante ressaltar que também são registrados maiores percentuais de UDI acima de 2000 lux e de DA para o décimo pavimento.

Ao se analisar o Modelo 1A, sem brises, pode-se perceber que, dentro da faixa de UDI entre 500 e 2000 lux, o modelo com vidro simples apresenta maiores resultados no décimo pavimento, cerca de 30,81%, quando comparado às simulações com os outros tipos de vidros e pavimentos. Ao se acrescentar brises, esse modelo e pavimento ainda apresentam maiores percentuais de horas simuladas nessa faixa, cerca de 29,1%. A métrica de DA segue as mesmas características, onde o modelo com vidro simples sem brises apresenta 53,7% e, com brises, 30,26%, indicando que para o andar mais alto simulado há um decaimento de cerca de 23,44%.

O Modelo 2A apresenta resultados semelhantes ao anterior, onde o décimo pavimento, simulado com vidro simples, com e sem a presença de brises, demonstra maiores porcentagens de horas dentro das faixas de DA e de UDI entre 500 e 2000

lux, sendo as porcentagens de UDI de 37,77% (sem brises) e 38,58% (com brises), enquanto os valores de DA chegam a 66,91% (sem brises) e 40,71% (com brises).

Já os pavimentos simulados do Modelo 3A apresentaram os maiores resultados nas métricas de DA e de UDI entre 500 e 2000, com as simulações feitas para os modelos com vidros simples no décimo pavimento. A presença de brises, de forma geral, para esse modelo e pavimento, diminui cerca de 9% na métrica de DA, registrando as porcentagens de 42,41% (com brises) e de 61,34% (sem brises). Já na faixa estudada de UDI, os valores se mantêm próximos no 10º pavimento: 34,2% (sem brises) e 39,55% (com brises). Muito provavelmente, essa proximidade entre os valores de UDI ocorre devido ao baixo percentual de PAF utilizado neste modelo, com cerca de 40%.

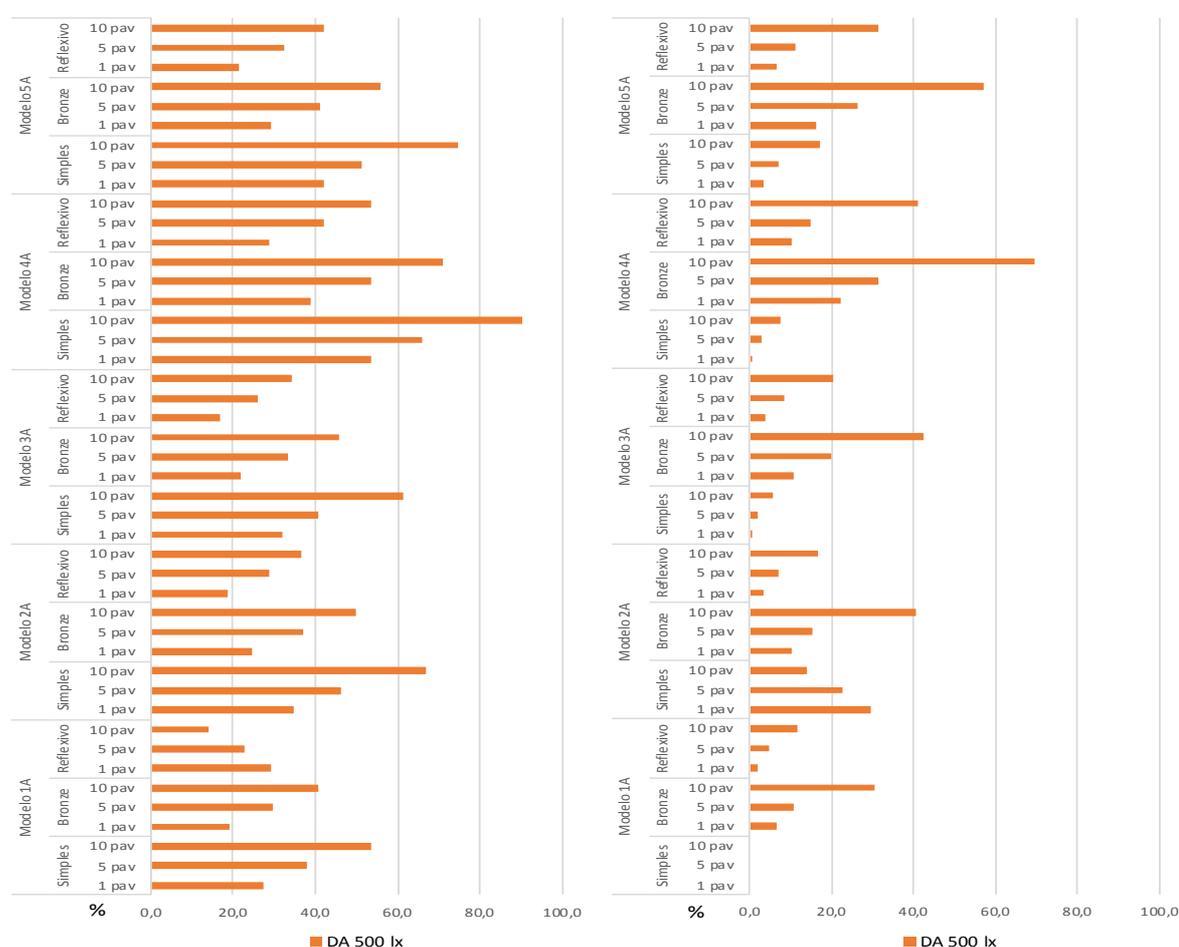
Ainda analisando os modelos mais contemporâneos, é possível perceber que o Modelo 4A segue as mesmas características dos outros, já que o décimo pavimento, com vidro simples, apresenta maiores valores percentuais quando comparado aos outros modelos de vidros e pavimentos. Sem a presença de brises, os valores foram de 47,65% e 90,51%, respectivamente para as métricas de UDI entre 500 e 2000 e DA, no pavimento mais alto. Ao se acrescentar os brises, os valores para essas mesmas métricas são de 59,93% e 69,93%, respectivamente. Nota-se um aumento na faixa útil quando há o acréscimo de brises, muito provavelmente por esse elemento também possuir o papel de barrar uma parcela de iluminância direta, fazendo com que os valores de ofuscamento sejam menores, aumentando assim as porcentagens de UDI ideal.

O quinto modelo (5A) apresenta resultados medianos, uma vez que seu percentual de abertura é de 70%. Sem a presença de brises, a maior porcentagem de UDI ideal foi para o vidro simples, no décimo pavimento, 41,21%; com a presença de brises, esse valor sobe para 49,9%. A maior métrica de DA para a simulação com brises foi de 57,11%, no décimo pavimento e também com vidro simples; sem brises, esse valor sobe para 74,9%.

## 4.2.2 Análise Comparativa De UDI e De DA Entre os Modelos

Através do Gráfico 18, onde são apresentados os resultados de DA para todos os cinco modelos simulados com e sem a presença de brises e com todos os três modelos de vidros, pode-se perceber que, para as simulações sem brises, os valores em geral são duas vezes superiores quando comparados às simulações com brises.

Gráfico 18- Informações de DA, sem brises (a) e com brises (b), para todos os modelos e vidros.



Fonte: AUTOR, 2020.

Ao se analisar os Modelos 1A com e sem brises, são encontrados os maiores valores percentuais para as simulações com vidro simples, sem proteção (39,67%). O vidro reflexivo, com os brises, apresentou a maior porcentagem de DA, cerca de 22,03%. O Modelo 2A (a) enciou os maiores valores para a c (b) ração de vidro simples: 49,22% (sem brises) e 22,14% (com brises).

É interessante notar a diferença entre o percentual de DA para os vidros reflexivos e simples, visto que sem a presença de brises chega a 22% e com a presença de brises marca 20%.

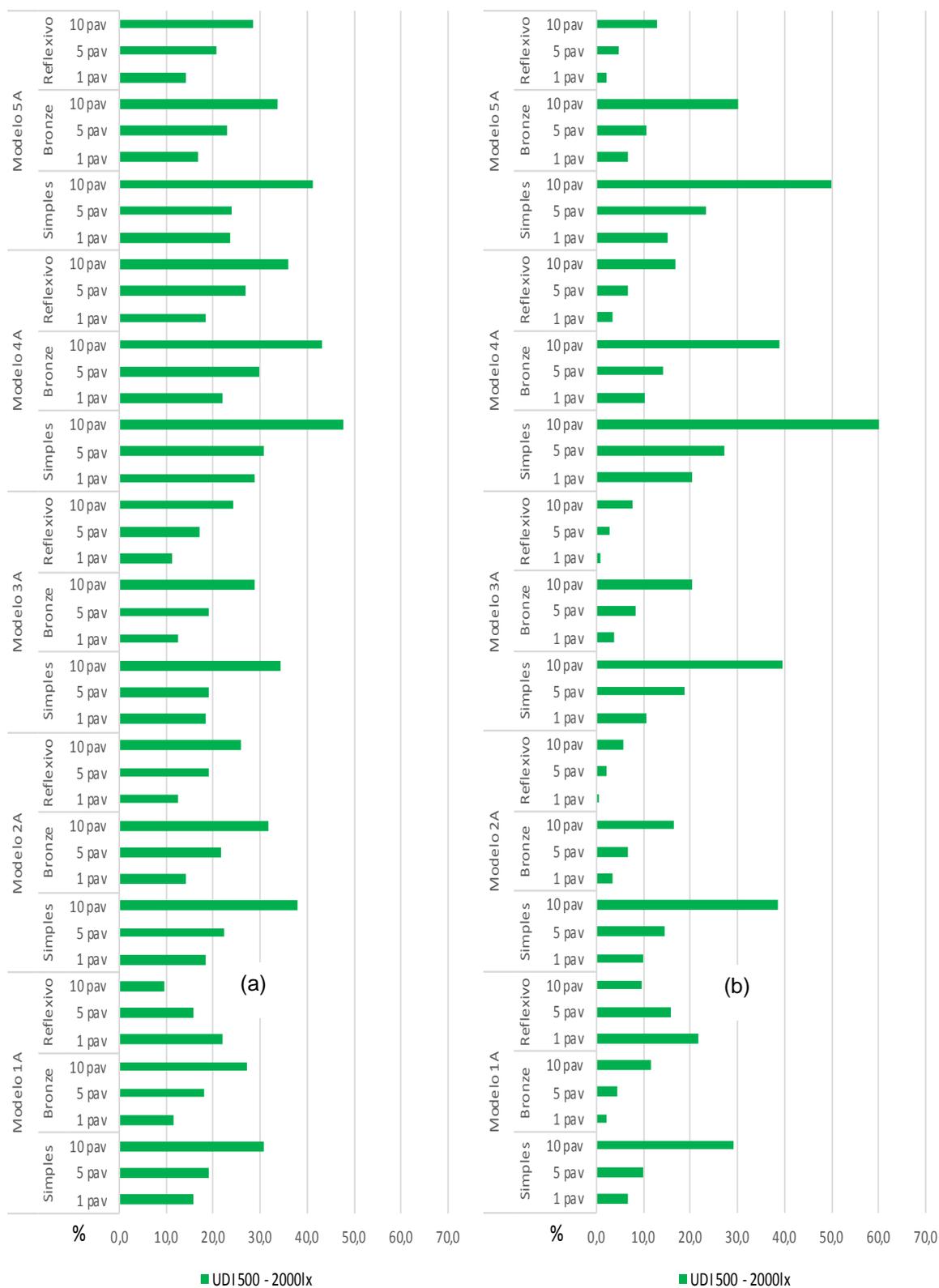
Os Modelos 3A, 4A e 5A apresentam características semelhantes entre si, visto que as maiores porcentagens de DA foram simuladas com a presença de vidro simples e sem brises e as menores porcentagens para vidros reflexivos com brises. O Modelo 4A registra uma maior variação entre esses dois vidros, com cerca de 32%, provavelmente devido ao maior percentual de abertura da fachada, fazendo com que a presença de brises seja mais percebida.

Já com relação à faixa de UDI desejável (500 a 2000 lux), pode-se perceber através do Gráfico 19 que há uma maior constância entre os modelos de vidros quando simulados sem os brises. Porém, todos os modelos apresentaram maiores porcentagens com o vidro simples, tanto com e sem a presença de brises, indicando a influência do tipo de vidro de alta transmitância à luz visível. Entretanto, essa tipologia também tem como característica altos valores para iluminância excessiva, sendo maior que todos os outros modelos.

É perceptível que, nas simulações com brises, o décimo pavimento apresenta os maiores percentuais de horas simuladas dentro da faixa de UDI entre 500 e 2000 lux, e o primeiro pavimento os menores valores. Pavimentos inferiores tendem a sofrer maiores interferências do entorno, e o uso de brises potencializa a redução de iluminância direta recebida.

As maiores diferenças entre as porcentagens de UDI simuladas foram encontradas também para o Modelo 4A, com 26% em média entre o vidro simples e o vidro reflexivo com a presença de brises. Esse fato ocorre, provavelmente, devido à influência do PAF deste modelo que é de 100%.

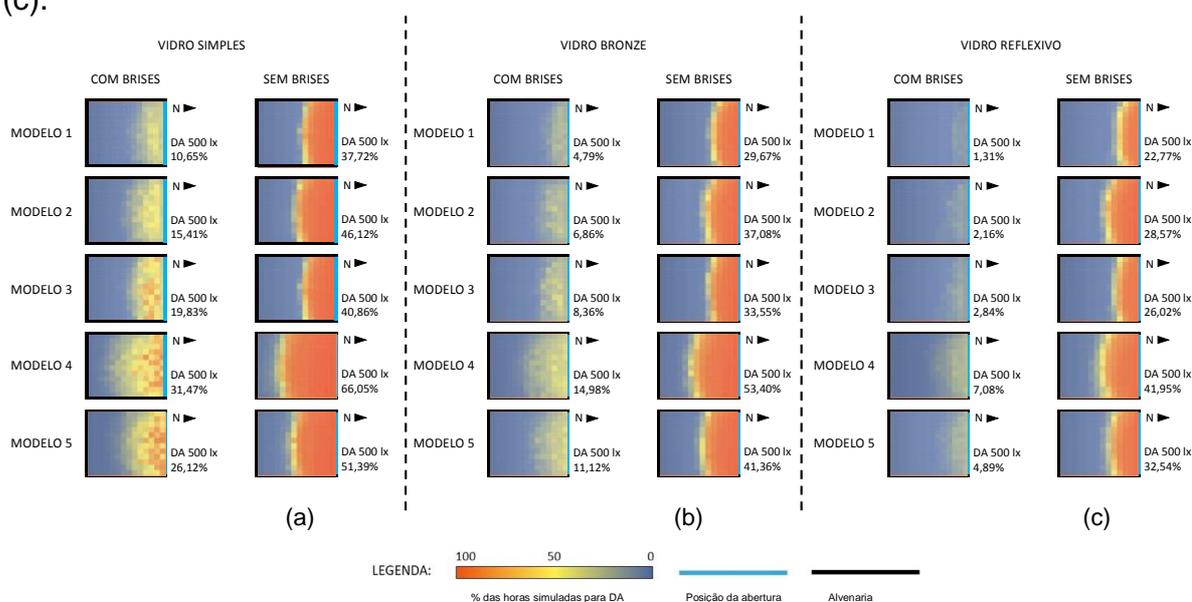
Gráfico 19-Informações de UDI entre 500 e 2000, sem brises (a) e com brises (b), para todos os modelos e vidros.



Fonte: AUTOR, 2020.

A Figura 20 evidencia a influência do percentual de abertura e dos brises no nível de DA no interior das salas. Quanto menor o PAF e quando há a presença de brises, menor é a profundidade alcançada por essa métrica. Pode-se perceber, através da escala de cores, que o Modelo 1A possui menor percentual de DA quando comparado aos outros quatro modelos. Esse valor é ainda menor quando há a presença de brises, chegando a uma diferença de 20%, em média. O Modelo 4A, em simulações com vidros simples e brises, possui maior desempenho entre todos os modelos configurados com brises, cerca de 31,47%. Essa mesma tipologia também apresenta maiores percentuais de DA quando simulada sem brises.

Figura 20- Comparação da distribuição do percentual de DA (500 lux) no plano de trabalho das salas da fachada Norte, dos 5 modelos representativos para o quinto pavimento, sem brises e com brises, com os vidros simples (a), bronze (b) e reflexivo (c).



Fonte: AUTOR, 2020.

### 4.2.3 Uniformidade

Neste tópico, foi analisada a uniformidade da luz dentro de um ambiente interno dos modelos das edificações simuladas, onde buscou-se avaliar a distribuição da iluminância no espaço. Para isso, foram utilizadas duas metodologias de análise:

a) O primeiro método, em concordância com a ABNT 8995/13, calculou a razão entre a iluminância mínima e a média em cada sala, levando em consideração os

valores determinados pela legislação de no mínimo 0,6 (ou 60%) para a área de trabalho. Nesta etapa, foram observados os dados referentes ao desempenho dos 5 modelos de edifícios de escritórios em estudo, com orientação da fachada principal Norte, considerando a presença de entorno obstruído e variando o impacto dos seguintes elementos construtivos na uniformidade da luz: PAF, tipo de vidro e presença ou não de sombreador externo.

Foi utilizada simulação estática, levando em consideração o período do equinócio de outono e dos solstícios de verão e de inverno, para os seguintes horários: 08h, 10h, 14h e 16h. Tais horários foram selecionados de forma a retratar o desempenho da luz natural ao longo do período de funcionamento das salas comerciais de trabalho. A análise se deu apenas para o céu claro (CIE 12), uma vez que esse modelo de céu é o que apresenta as maiores influências na uniformidade de um ambiente.

b) A segunda metodologia utilizada foi a análise de uniformidade da métrica de DA, através da porcentagem de horas simuladas dessa métrica em função da profundidade da sala, conforme a pesquisa de Li; Tsang (2007) no trabalho sobre análises de performance de luz natural em edifícios de escritórios, onde utilizam a métrica de Daylight Factor e a DA para análise computacional. Esta análise se deu também para a orientação Norte, por ser a fachada representativa de variação dos resultados apresentados anteriormente acerca da análise dos modelos, e considerou o cenário com a obstrução do entorno.

#### **4.2.3.1 Uniformidade Pelo Método Da NBR 8995/13**

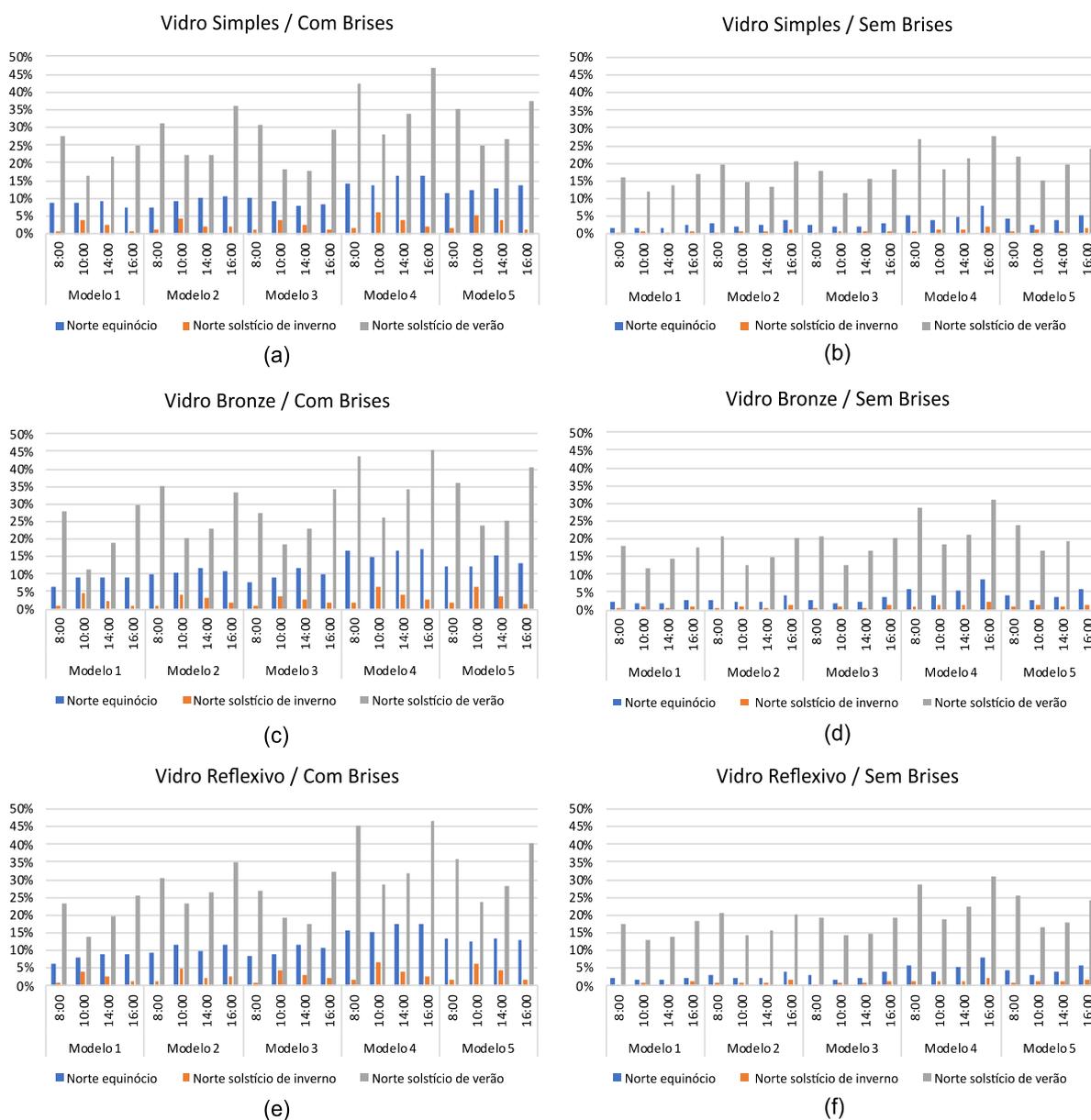
Através dos Gráficos 20 e 21, que representam os valores da uniformidade de cada um dos cinco modelos, orientados para Norte, com e sem a presença de brises, é possível perceber que a distribuição da iluminância no ambiente não atinge os valores determinados pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), de no mínimo 0,6 (ou 60%) para a área de trabalho, em nenhuma das simulações. É evidente a influência da presença de sombreadores externos nas simulações nos níveis de uniformidade alcançados, já que a presença desses elementos aumenta os valores, sendo,

portanto, o uso desse dispositivo um impacto positivo na qualidade do ambiente lumínico.

Observa-se que, nesta etapa, em média, maiores índices de uniformidade foram atingidos quando simulados no período do solstício de verão, de 8 horas da manhã às 16 horas da tarde, horários em que o sol possui um menor ângulo de incidência solar nas fachadas, fazendo com que a luminosidade penetre mais profundamente nas salas simuladas.

Ao fazer uma análise da variação dos três tipos de vidros utilizados, percebe-se que as maiores porcentagens de uniformidade são apresentadas para o Modelo 4A, com a presença de brises, variando entre 29,2% para o vidro simples, 30,5% para o vidro reflexivo e 30% para o bronze; sem a presença de brises, os valores foram de 14,4% para o vidro simples, 15,7% para o vidro reflexivo e 8,7% para o bronze. O Modelo 5A vem na sequência, com resultados de 25% para o vidro simples, 25,5% para o vidro bronze e 26,1% para o vidro reflexivo, com brises. Sem brises, os valores são de 11,9%, 12,4% e 12,9%, respectivamente para os vidros simples, bronze e reflexivo.

Gráfico 20- Uniformidade com entorno para a orientação Norte: (a) vidro simples com brises, (b) vidro simples sem brises, (c) vidro bronze com brises, (d) vidro bronze sem brises, (e) vidro reflexivo com brises, (f) vidro reflexivo sem brises.



Fonte: AUTOR, 2020.

É interessante notar que a uniformidade cai à medida que o PAF diminui. O Modelo 2A, por exemplo, com 50% de PAF, sendo o segundo menor percentual de abertura, apresenta, para as simulações com brises, valores de uniformidade de 20,9%, 21,8% e 22,3% para os vidros simples, bronze e reflexivo. Sem brises, os valores caem para 9,6%, 10,2% e 10,6%, respectivamente para os vidros simples, bronze e reflexivo.

Os menores resultados ocorrem nos Modelo 1A e 3A sem brises, onde para o primeiro modelo as porcentagens de uniformidade marcam cerca de 8,1% (com o vidro simples), 8,7% (com o bronze) e 8,6% (com o reflexivo). Já para as simulações com brises, os valores chegam a 17,5%, 18,1% e 18,2%, respectivamente para os vidros simples, bronze e reflexivo. O Modelo 3A também apresenta valores baixos, com 8,7% para vidro simples, 9,5% para o bronze e 9,7% para o reflexivo, quando analisado sem brises. Ao acrescentar esses elementos, os valores sobem para 18,6% 19,5% e 19,8%, respectivamente.

Observa-se que a presença do peitoril opaco nos Modelos 1A e 3A impacta na distribuição da luz no ambiente, gerando zonas de maior sombreamento próximo à janela e impactando nos resultados da uniformidade média do ambiente, ao contrário do que acontece com o Modelo 4A, por não apresentar peitoris em sua fachada, com 100% de PAF.

Pode-se dizer então que o PAF impacta na uniformidade do local, pois interfere na razão entre a área opaca e translúcida do ambiente. Além disso, é importante lembrar que a presença de sombreadores também impacta na distribuição da luz ao longo do recinto. Esses dispositivos funcionam como elementos controladores de insolação direta nas fachadas e como refletores de luz para o interior da sala, fazendo com que a uniformidade por todo o ambiente seja maior.

A Tabela 10 traz a representação da média percentual de uniformidade, em todos os horários simulados, para todos os 5 modelos, com e sem a presença de brises.

Tabela 10- Média percentual de uniformidade para todos os 5 modelos, com e sem a presença de brises.

MODELO 1A		MODELO 2A		MODELO 3 <sup>a</sup>		MODELO 4A		MODELO 5 <sup>a</sup>	
Com Brises	Sem Brises	Com Brises	Sem Brises	Com Brises	Sem Brises	Com Brises	Sem Brises	Com Brises	Sem Brises
VIDRO SIMPLES (TL= 88%)									
17,5%	8,1%	20,9%	9,6%	18,6%	8,7%	29,2%	14,4%	25,0%	11,9%
VIDRO BRONZE (TL= 53%)									
18,3%	8,7%	21,8%	10,2%	19,5%	9,5%	30,0%	15,2%	25,5%	12,4%
VIDRO REFLEXIVO (TL= 53%)									
18,1%	8,6%	22,3%	10,6%	19,8%	9,7%	30,5%	15,7%	26,1%	12,9%

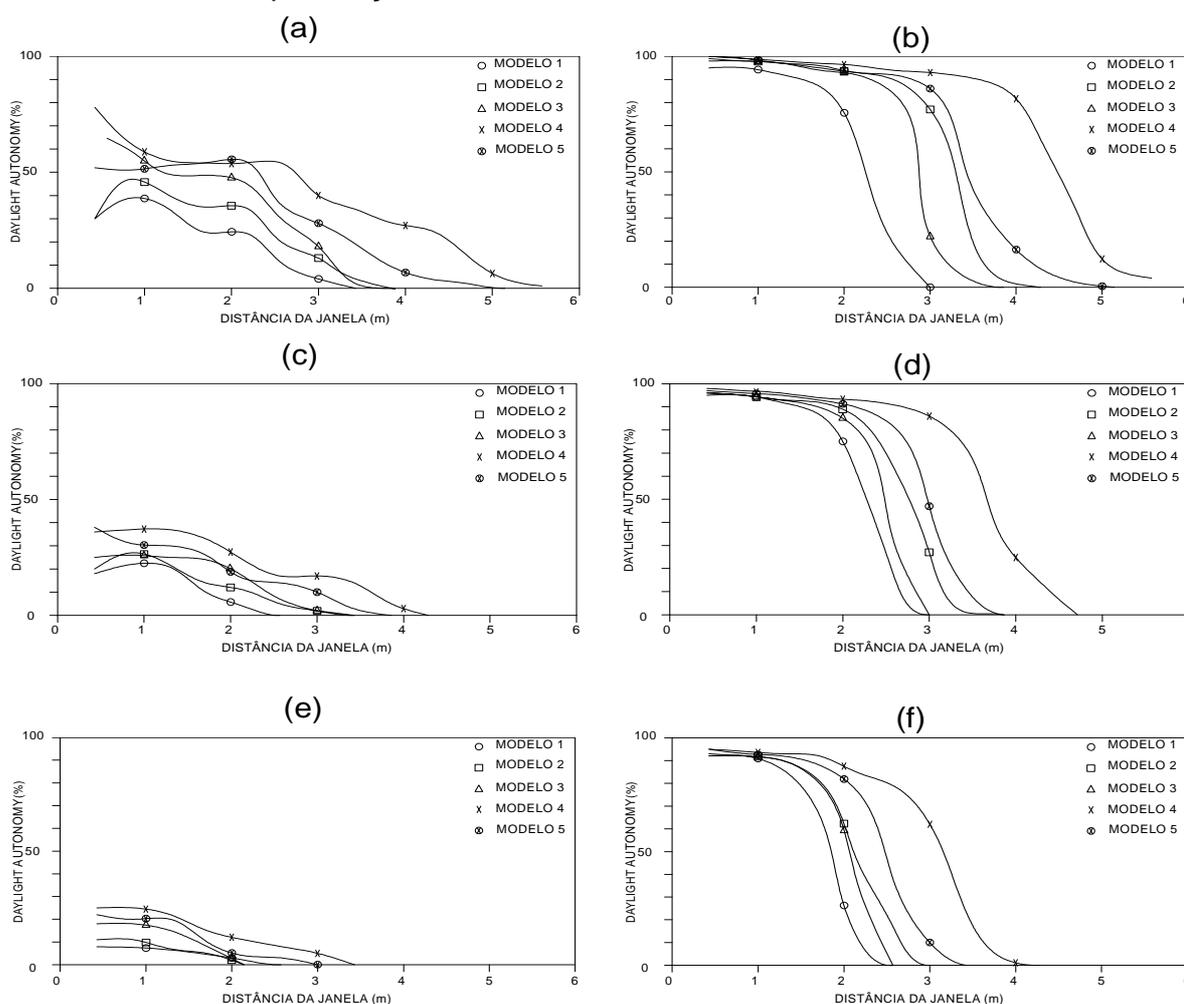
Fonte: AUTOR, 2020.

#### 4.2.3.2 Uniformidade Através Da Análise De DA

Através do Gráfico 21, que mostra no eixo X a distância em relação à janela e no eixo Y a porcentagem de DA, pode-se perceber a uniformidade de DA dos cinco modelos simulados. A curva de decaimento de DA é menor quando simulada com brises e comparada às simulações sem proteção.

Através dessa métrica, pode-se entender o comportamento da iluminância dentro da sala, uma vez que é possível perceber os valores de DA em toda a profundidade do ambiente.

Gráfico 21- Uniformidade da métrica de DA no interior da sala orientado para Norte: (a) modelos com vidro simples e com a presença de brises, (b) modelos com vidro simples e sem a presença de brises, (c) modelos com vidro bronze e com a presença de brises, (d) modelos com vidro bronze e sem a presença de brises, (e) modelos com vidro reflexivo e com a presença de brises, (f) modelos com vidro reflexivos e sem a presença de brises.



Fonte: AUTOR, 2020.

As simulações com a configuração de vidro reflexivo (TL= 35%) e presença de brises diminuem cerca de 80% os níveis de DA, sendo essa a tipologia que mais impacta na métrica de desempenho lumínico. A profundidade de alcance dessa métrica em relação às janelas é menor quando comparada às simulações sem brises; porém, por possuir menores percentuais de DA, a uniformidade se torna maior, pois as variações dos percentuais são menores ao se distanciar da janela.

As simulações com o vidro bronze, com TL de 53%, possuem resultados inferiores de uniformidade de DA, quando comparados aos outros dois tipos de vidros propostos, uma vez que seus percentuais são menores.

#### 4.2.4 Ofuscamento

Nesta etapa, analisou-se o desconforto lumínico através do ofuscamento, no primeiro, quinto e décimo pavimentos dos 5 modelos de edifícios de escritórios em estudo, com orientação da fachada principal Norte, considerando a presença de entorno obstruído e variando o impacto dos seguintes elementos construtivos na uniformidade da luz: PAF, tipo de vidro e presença ou não de sombreador externo.

O índice de DGP foi calculado levando em consideração os valores determinados por diversos pesquisadores, como Jakubiec e Reinhart (2012), que consideram os níveis maiores que 0,45 como intoleráveis, entre 0,45 e 0,40 como perturbadores, entre 0,40 e 0,35 como perceptíveis e abaixo de 0,35 como imperceptíveis.

A Tabela 11 apresenta os resultados das simulações dos modelos em estudo, considerando o uso do vidro simples (TL= 88%). Por meio desses resultados, percebe-se que os índices de ofuscamento predominam no pavimento mais alto em relação ao nível da rua, por possuir menor percentual de obstrução da parcela visível da abóbada celeste, ficando mais suscetível aos níveis excessivos de iluminância.

Tabela 11- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Norte, para os cinco modelos estudados e para o cenário de com e sem brises. Simulações feitas com vidro simples.

Norte		Sem Brises	Com Brises	
Vidro Simples	Modelo 1A	1 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		5 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		10 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
	Modelo 2A	1 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		5 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		10 <sup>o</sup> pavimento	2,95%	0,00%
	Modelo 3A	1 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		5 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		10 <sup>o</sup> pavimento	0,25%	0,00%
	Modelo 4A	1 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		5 <sup>o</sup> pavimento	3,77%	0,35%
		10 <sup>o</sup> pavimento	23,64%	9,70%
	Modelo 5A	1 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		5 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		10 <sup>o</sup> pavimento	6,99%	4,45%

Fonte: AUTOR, 2020.

Em relação à influência do PAF, os maiores valores de índices de desconforto por ofuscamento foram encontrados nos modelos com maiores Percentuais de Abertura de Fachada. Sendo assim, o Modelo 4A, com 100% de PAF, apresenta 23,64% das horas simuladas dentro da faixa acima de 0,45 DGP, sendo esse o maior índice encontrado nas simulações sem a presença de sombreadores. Ainda analisando os modelos sem brises, o Modelo 5A marca 6,99% de ofuscamento, os modelos 2A e 3A registram cerca de 2,95% de DGP acima de 0,45 e o primeiro modelo não apresenta ofuscamento, muito provavelmente devido ao seu baixo percentual de abertura.

Nas simulações de desconforto lumínico por ofuscamento, considerando a presença de brises nas aberturas, os resultados para o Modelo 4A foram de cerca de 9,7% de ofuscamento, enquanto os demais modelos não apresentaram ofuscamento na faixa acima de 0,45 DGP. Tem-se, portanto, uma queda de aproximadamente 14% de ofuscamento, quando esses dispositivos de sombreamento são utilizados em modelos com PAF de 100% e vidros simples.

Através do Gráfico 22, onde no eixo x (abscissa) aparecem os meses do ano e no eixo y (ordenada) as horas do dia, as cores vermelho, laranja, amarelo e verde indicam a escala de análise de ofuscamento que vai da pior situação (ofuscamento

intolerável:  $DGP \geq 0,45$ ) até a melhor situação (ofuscamento imperceptível:  $DGP \leq 0,35$ ).

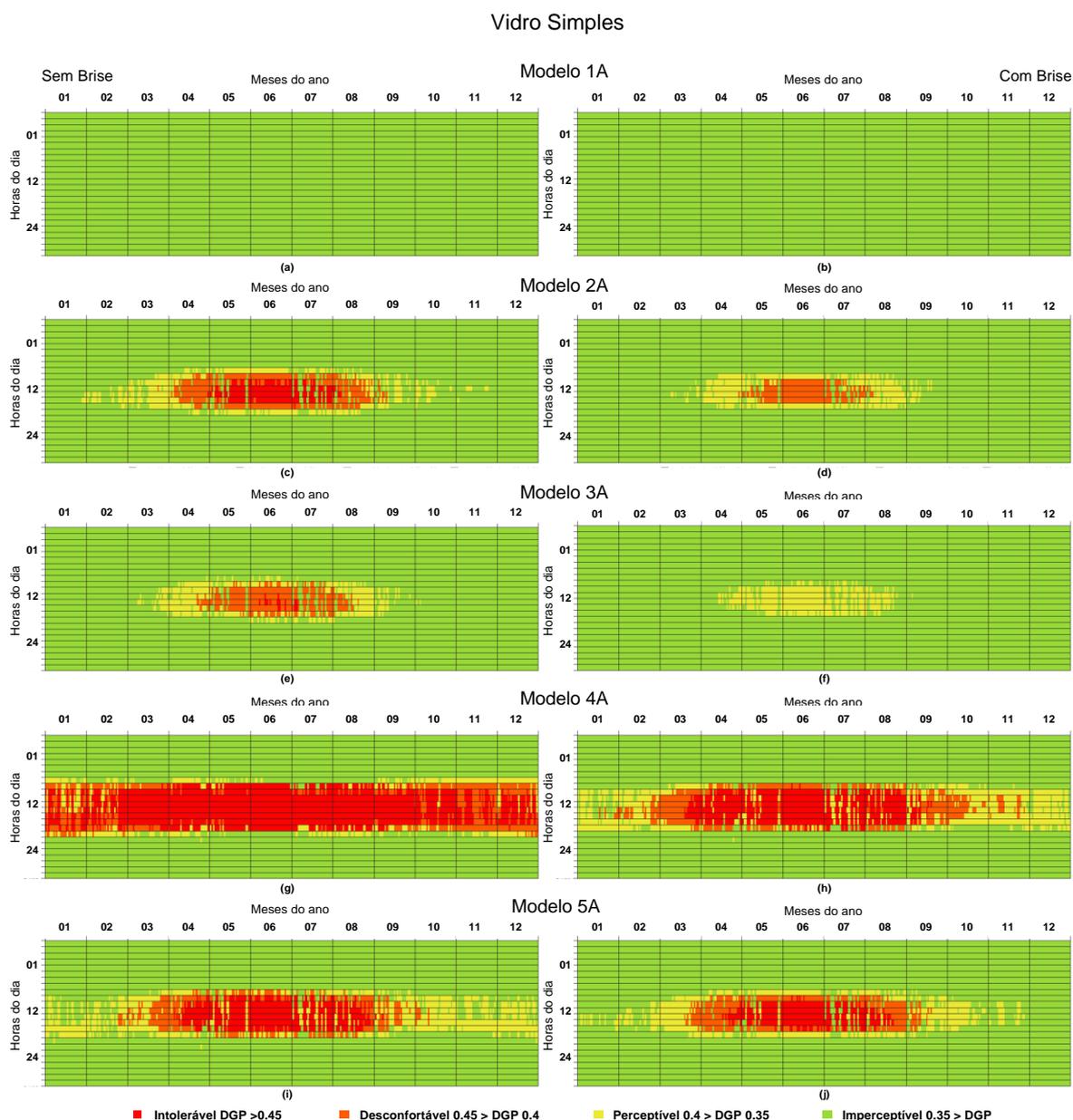
Pode-se comparar os cinco modelos e perceber a influência do percentual de abertura utilizado quando analisado o ofuscamento intolerável, uma vez que o Modelo 1A, que apresenta o menor percentual de abertura da fachada, com 40%, não simulou nenhum momento com DGP acima de 0,45. Já o Modelo 2A apresentou alguns momentos, cerca de 2,95% das horas simuladas, com ofuscamento, quando simulado sem brises, e nenhum momento quando simulado com brises, demonstrando que a utilização desse dispositivo minimiza a possibilidade de ofuscamento no interior dos edifícios.

O Modelo 3A, com vidro simples, apresenta o mesmo percentual de abertura do Modelo 1A, com 40%, porém o tipo das janelas é diferente, sendo que o primeiro modelo possui 4 janelas por sala e o terceiro modelo somente uma, em fita. Assim, observa-se que, apesar de ambos os modelos não apresentarem ofuscamento intolerável, representado pela cor vermelha, o terceiro modelo registra alguns momentos dentro das faixas desconfortável e perceptível, representadas respectivamente pelas cores laranja e amarelo, ao passo que o Modelo 1A não apresenta nenhum momento dentro desses intervalos.

O Modelo 4A, que possui 100% de PAF, apresenta ofuscamento intolerável em todos os meses do ano, quando simulado sem a presença de brises e com vidro simples. Porém, quando adicionado esse elemento, no período do verão (Janeiro, Fevereiro e Dezembro), o DGP acima de 0,45 aparece, totalizando 9,7% das horas simuladas, sendo o maior índice dentre os modelos simulados com brises.

De fato, a utilização de percentuais maiores de abertura de fachada com vidro simples e sem proteção é inviável do ponto de vista do desconforto lumínico por ofuscamento, além de climas tropicais quentes favorecerem a entrada de radiação solar direta, na maior parte do ano, na orientação em estudo. Por outro lado, observa-se a eficiência de um sistema de sombreamento externo à abertura, que, mesmo com um PAF elevado, impacta significativamente na redução do índice de ofuscamento intolerável.

Gráfico 22- Simulação de DGP para todos os cinco modelos orientados para Norte, com vidro simples: (a) Modelo 1A sem a presença de brises, (b) Modelo 1A com a presença de brises, (c) Modelo 2A sem a presença de brises, (d) Modelo 2A com a presença de brises, (e) Modelo 3A sem a presença de brises, (f) Modelo 3A com a presença de brises, (g) Modelo 4A sem a presença de brises, (h) Modelo 4A com a presença de brises, (i) Modelo 5A sem a presença de brises, (j) Modelo 5A com a presença de brises. Todos os gráficos são para o 10<sup>o</sup> pavimento.



Fonte: AUTOR, 2020.

O Modelo 5A, com 70% de abertura, apresenta resultados moderados para ofuscamento, com cerca de 6,99% (quando simulado sem brises) e 4,45% (com brises), sendo os meses de abril até agosto os que demonstram maiores probabilidades de ocorrer ofuscamento, devido à incidência maior dos raios solares

na fachada Norte nesse período. É importante observar também que a presença de elemento sombreador neste modelo (PAF= 70%) tem um menor impacto na redução do ofuscamento, se comparado ao PAF de 100%.

Na Tabela 12, compara-se todos os cinco modelos simulados com o uso do vidro bronze, evidenciando que os índices de ofuscamento aparecem somente para o 10º pavimento, andar mais alto em relação ao nível da rua. Os maiores valores simulados de ofuscamento surgem para o modelo com maior PAF, Modelo 4A, com 100% de percentual de abertura. Esse tipo de edifício apresenta 3,09% das horas simuladas dentro da faixa acima de 0,45 DGP, quando analisado sem brises, sendo esse o maior índice de desconforto por ofuscamento encontrado nas simulações, seguido do Modelo 3A, que apresenta DGP acima de 0,45 cerca de 0,25% das horas com ofuscamento (sem brises). Os demais modelos não possuem ofuscamento quando simulados sem brises. Com a presença dos elementos sombreadores, nenhum dos modelos apresentou índice de DGP acima de 0,45. O Modelo 4A, com brises, apresentou poucos valores de DGP na faixa de desconfortável, porém nenhum na faixa intolerável.

Tabela 12- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Norte, para os cinco modelos estudados e para o cenário de com e sem brises. Simulações feitas com vidro bronze.

Norte		Sem Brises	Com Brises	
Vidro Bronze	Modelo 1A	1º pavimento	0,00%	0,00%
		5º pavimento	0,00%	0,00%
		10º pavimento	0,00%	0,00%
	Modelo 2A	1º pavimento	0,00%	0,00%
		5º pavimento	0,00%	0,00%
		10º pavimento	0,00%	0,00%
	Modelo 3A	1º pavimento	0,00%	0,00%
		5º pavimento	0,00%	0,00%
		10º pavimento	0,25%	0,00%
	Modelo 4A	1º pavimento	0,00%	0,00%
		5º pavimento	0,00%	0,00%
		10º pavimento	3,09%	0,00%
	Modelo 5A	1º pavimento	0,00%	0,00%
		5º pavimento	0,00%	0,00%
		10º pavimento	0,00%	0,00%

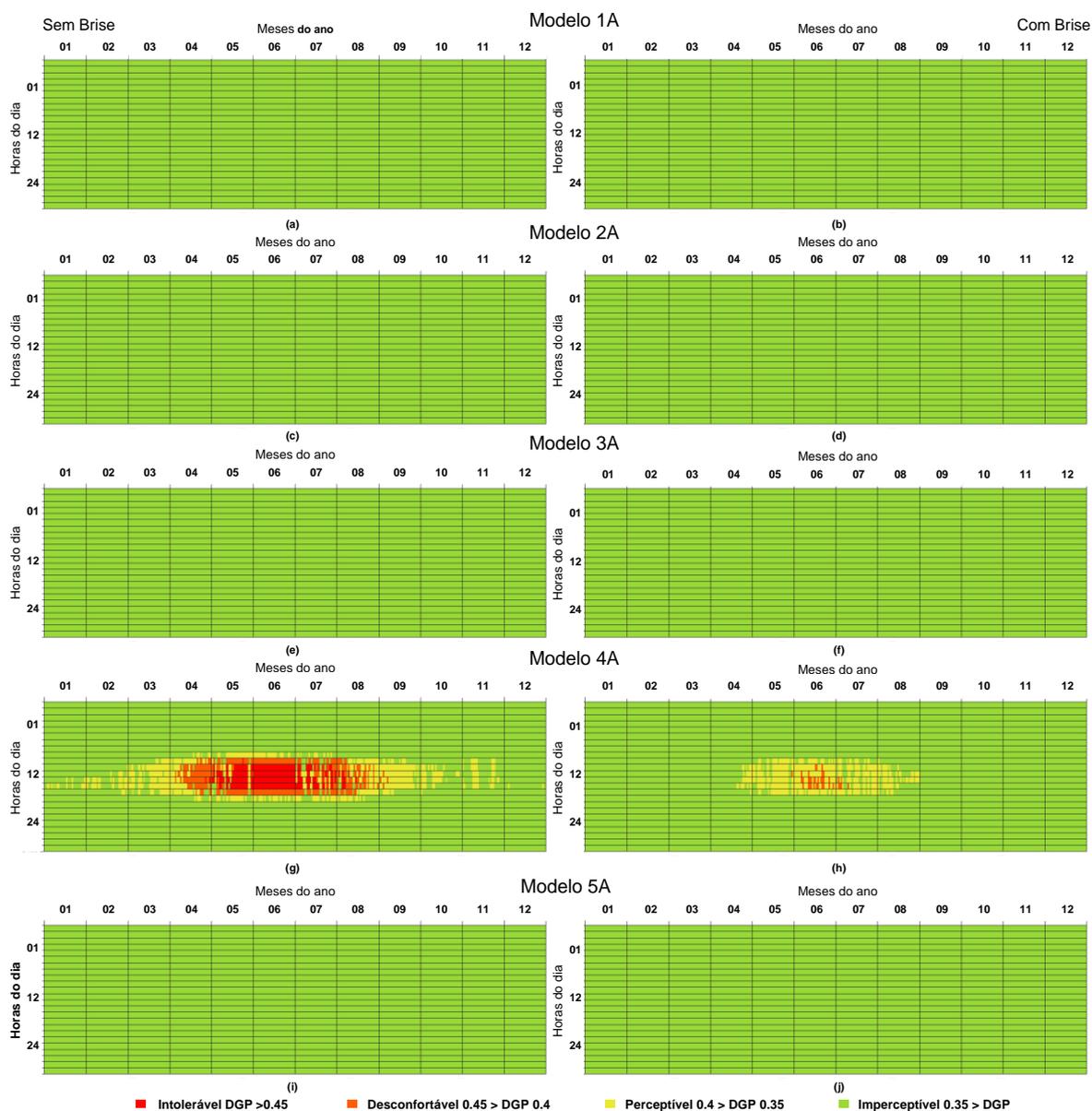
Fonte: AUTOR, 2020.

Através do Gráfico 23, pode-se comparar os modelos com o uso do vidro bronze e com e sem a presença de brises; também é possível perceber que para o

Modelo 4A, com 100% de PAF, o desconforto por ofuscamento ocorre entre os meses de Maio a Julho. Nos outros meses do ano, as simulações apresentam níveis de ofuscamento perceptíveis ou toleráveis.

Gráfico 23- Simulação de DGP para todos os cinco modelos orientados para Norte, com vidro bronze: (a) Modelo 1A sem a presença de brises, (b) Modelo 1A com a presença de brises, (c) Modelo 2A sem a presença de brises, (d) Modelo 2A com a presença de brises, (e) Modelo 3A sem a presença de brises, (f) Modelo 3A com a presença de brises, (g) Modelo 4A sem a presença de brises, (h) Modelo 4A com a presença de brises, (i) Modelo 5A sem a presença de brises, (j) Modelo 5A com a presença de brises. Todos os gráficos são para o 10º pavimento.

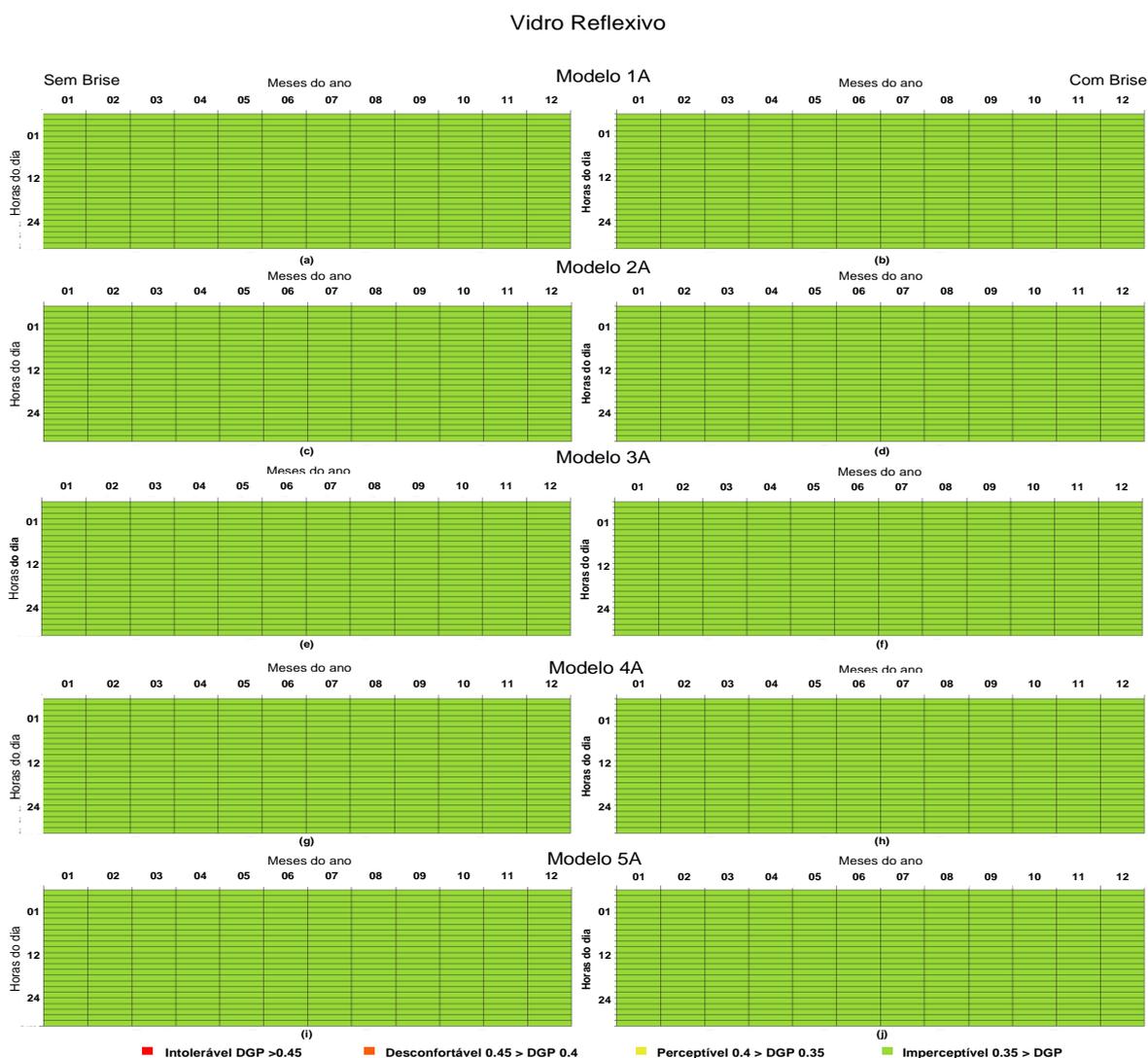
#### Vidro Bronze



Fonte: AUTOR, 2020.

No Gráfico 24 e na Tabela 13, percebe-se a inexistência de ofuscamento em todos os modelos e pavimentos simulados com o uso do vidro reflexivo (TL= 35%), com ou sem a presença de brises, quando orientado para Norte, o que significa que vidros com valor de transmissão luminosa abaixo do utilizado minimizam a probabilidade de ofuscamento no interior das salas.

Gráfico 24- Simulação de DGP para todos os cinco modelos orientados para Norte, com vidro reflexivo: (a) Modelo 1A sem a presença de brises, (b) Modelo 1A com a presença de brises, (c) Modelo 2A sem a presença de brises, (d) Modelo 2A com a presença de brises, (e) Modelo 3A sem a presença de brises, (f) Modelo 3A com a presença de brises, (g) Modelo 4A sem a presença de brises, (h) Modelo 4A com a presença de brises, (i) Modelo 5A sem a presença de brises, (j) Modelo 5A com a presença de brises. Todos os gráficos são para o 10<sup>o</sup> pavimento.



Fonte: AUTOR, 2020.

Tabela 13- Porcentagem de horas simuladas com DGP inaceitável, acima de 0,45, quando orientado para Norte, para os cinco modelos estudados e para o cenário de com e sem brises. Simulações feitas com vidro reflexivo.

Norte		Sem Brises	Com Brises	
Vidro Reflexivo	Modelo 1A	1 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		5 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		10 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
	Modelo 2A	1 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		5 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		10 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
	Modelo 3A	1 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		5 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		10 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
	Modelo 4A	1 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		5 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		10 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
	Modelo 5A	1 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		5 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%
		10 <sup>o</sup> pavimento	0,00%	0,00%

Fonte: AUTOR, 2020.

A respeito do ofuscamento, entende-se que o aumento do PAF impacta nos níveis de DGP, elevando-os significativamente. Entretanto, em se tratando da fachada Norte, quando há o acréscimo de brises, os valores reduzem, pois esses elementos funcionam também como bloqueadores para a incidência direta dos raios solares no interior da edificação.

Da mesma forma, em relação ao tipo de vidro, percebe-se que quanto maior o percentual de TL, maiores são os níveis de ofuscamento. Assim, chegar a uma relação entre o percentual de abertura das fachadas e um modelo de vidro ideal é de extrema importância para o bem-estar dos usuários.

O modelo de vidro reflexivo (TL= 35%) não simulou nenhum momento com ofuscamento para os cinco modelos estudados nesta etapa. Porém, como visto no capítulo anterior, índices de iluminância insuficiente são mais elevados quando esse modelo de vidro é utilizado. Logo, pode-se enfatizar que vidros com TL menores que a estudada devem ser aplicados a maiores PAF.

Entende-se que o modelo de vidro simples apresenta os piores resultados gerais, quando analisado somente o ofuscamento, pois esse tipo de vidro simulou grandes porcentagens de horas dentro da faixa de DGP intolerável, com e sem a presença de brises.

É interessante notar que somente o Modelo 1A não apresenta ofuscamento com nenhum tipo de vidro, já que possui baixo percentual de PAF. Então, pode-se enfatizar que ao contrário dos vidros com TL menores, que devem ser aplicados a maiores PAF, vidros com TL maiores do que a estudada devem ser aplicados a menores PAF.

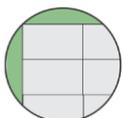
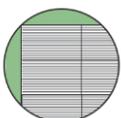
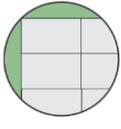
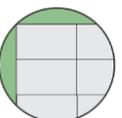
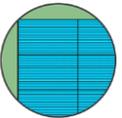
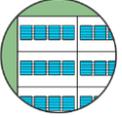
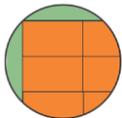
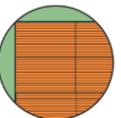
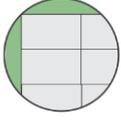
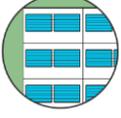
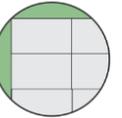
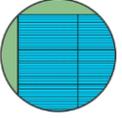
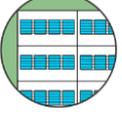
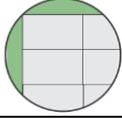
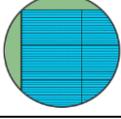
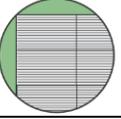
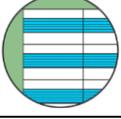
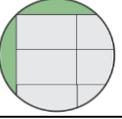
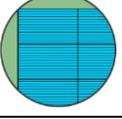
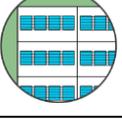
#### **4.2.5 Síntese Das Métricas De Desempenho Lumínico Em Ambiente Interno, Considerando Modelos Que Variam Nos Seguintes Elementos Construtivos: Percentual De Abertura Da Fachada (PAF), Tipo De Vidro e Presença Ou Não De Sombreadores**

A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que, em geral, uma composição entre altos valores de PAF e tipos de vidros com baixos percentuais de TL proporciona melhor equilíbrio entre os valores de UDI, DA, Uniformidade e Ofuscamento. Através da Tabela 14, pode-se entender quais combinações entre tipos de vidros e presença ou não de brises tiveram maiores valores ideais para cada métrica estipulada. Percebe-se que não existe uma composição ideal que atenda bem a todas as métricas, ao mesmo tempo.

Quando direcionado para Norte, constata-se que o vidro bronze é o modelo que possui menores resultados ideais entre todas as métricas estudadas. Já o vidro simples, com TL de 88%, representado na tabela pela cor cinza, no geral, possui melhor desempenho, visto que aparece com melhores percentuais em grande maioria das métricas e dos modelos simulados.

Nas faixas de  $UDI < 100$  e  $UDI > 2000$ , os modelos representados na Tabela 14 apresentam menores percentuais, sendo avaliadas como mais interessantes, uma vez que simulações com UDI inferior a 100 lux são consideradas insuficientes e acima de 2000 lux são consideradas excessivas.

Tabela 14- Resultados de todas as métricas estudadas para as simulações dos cinco modelos, com e sem a presença de brises, em função dos pavimentos simulados.

	UDI				DA	UN	OF
	<100 lx	100 -500lx	500 - 2000lx	>2000 lx	500 lx		
1º PAV	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VS COM BRISE 	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 1A VR COM BRISE 	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VR COM BRISE 	MOD. 1A VR COM BRISE 
5º PAV	MOD. 4A VB SEM BRISE 	MOD. 4A VB COM BRISE 	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 2A VR COM BRISE 	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VR COM BRISE 	MOD. 1A VR COM BRISE 
10º PAV	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VR COM BRISE 	MOD. 4A VS COM BRISE 	MOD. 3A VR COM BRISE 	MOD. 4A VS SEM BRISE 	MOD. 4A VR COM BRISES 	MOD. 1A. VR COM BRISE 

Legenda: VS= Vidro Simples (TL: 88%) / VB= Vidro Bronze (TL: 53%) / VR= Vidro Reflexivo (TL: 35%) / UM = uniformidade e OF= ofuscamento.

Fonte: AUTOR, 2020.

Devido ao alto percentual de transmissão luminosa considerada (TL= 88%), o vidro simples apresenta resultados mais expressivos no pavimento mais próximo à rua, uma vez que permite maior absorção de luminosidade dentro do ambiente, minimizando a influência dos edifícios vizinhos. Em contrapartida, o uso desse modelo de vidro apresenta pouca uniformidade nas salas, gerando áreas intensamente iluminadas e outras menos, dentro de um único ambiente.

No pavimento intermediário (5º pavimento), há uma maior variedade de configurações de PAF, vidros e presença ou não de brises, que obtiveram melhores resultados nas métricas estudadas. Percebe-se, porém, que o modelo de vidro simples, com 100% de PAF, sem a presença de brises, mantém-se com a maior porcentagem de horas simuladas dentro da métrica de DA, pois essa configuração permite uma maior incidência de iluminação.

No décimo pavimento, percebe-se que cinco das sete métricas estudadas apresentaram melhores resultados com a presença de brises. Já o vidro reflexivo apresentou maiores índices em quatro métricas.

A presença de brises aumenta o percentual de uniformidade nos ambientes que possuem vidros com percentual de TL maior. Pode-se perceber, por exemplo, que nos modelos 1A e 2A a uniformidade se mantém a mesma quando simulados com o vidro bronze e o vidro reflexivo.

## 5 CONCLUSÕES

Ao analisar as diferentes tipologias propostas na pesquisa, não foi possível identificar apenas uma que tenha o melhor desempenho considerando todas as métricas analisadas. Entretanto, o trabalho pode contribuir para as investigações das tipologias mais adequadas para cada situação, de acordo com a orientação e presença do entorno, o que reforça a ideia de se utilizar a simulação computacional como ferramenta de análise e aperfeiçoamento de soluções de projeto. Cabe ressaltar que os dados apresentados são referentes às características e variáveis simuladas, às métricas avaliadas em cada modelo e que qualquer modificação de um desses itens pode alterar significativamente os resultados encontrados.

As questões que definem a importância da luz natural para o bem-estar dos seres humanos são de grande importância para a compreensão da influência desse elemento no comportamento e desempenho dos usuários nos espaços. Essa influência ganha maior destaque quando se trata do uso da luz natural nos ambientes de escritórios. Entretanto, a admissão desse recurso nos recintos internos deve ser pautada em diretrizes que garantam uma iluminação equilibrada e que permita a execução das mais variadas tarefas de forma segura e com conforto, satisfazendo às demandas existentes para cada atividade.

Este estudo procurou entender o comportamento da luz natural em ambientes de trabalho, utilizando as métricas de UDI, DA, uniformidade e ofuscamento, em modelos representativos de edifícios de escritórios, ao longo de um determinado período (de 1950 a 2016), frente à influência dos Percentuais de Abertura das Fachadas e dos tipos de vidros mais utilizados em cada período. Da mesma forma, investigou-se o impacto da variação dos elementos construtivos - PAF, do tipo de vidro e da presença de elementos sombreadores no desempenho lumínico dos espaços selecionados, com orientação de fachada Norte e entorno obstruído.

Através da metodologia adotada, baseada em simulações computacionais e utilizando o programa DIVA, este trabalho buscou apresentar resultados que contribuíssem para a discussão acerca da qualidade da luz natural empregada nos projetos das edificações construídas na cidade de Vitória - ES e quais as melhores composições de elementos construtivos para essa localidade.

De forma geral, os modelos representativos do período mais recente, de 2000 a 2016, obtiveram maiores percentuais de horas simuladas com iluminância

insuficiente, ou seja, essas tipologias são marcadas por uma maior dependência de sistemas de iluminação artificial, o que pode contribuir para uma redução na eficiência energética da edificação. Esse fato se intensifica com a presença do entorno obstruindo em parte da visualização da abóbada celeste. Por outro lado, foram os modelos mais recentes que apresentaram os menores registros de iluminância excessiva, que pode provocar ofuscamento nos usuários das salas. Esses resultados podem ser explicados pelo tipo de vidro mais recentemente utilizado, com um índice de transmitância menor da luz visível em relação aos vidros incolores, muito utilizados entre 1950 a 1979.

É possível perceber, por intermédio das simulações, que os níveis mínimos de uniformidade não foram alcançados em nenhum dos modelos estudados. Sabe-se que a utilização de apenas aberturas laterais, sem sistemas que possam maximizar a distribuição de luz no recinto, não favorece uma adequada uniformidade lumínica no espaço.

Maiores percentuais de uniformidade foram encontrados nos momentos em que a trajetória do sol não estava presente na parcela visível do céu, como já esperado. Entretanto, a presença do entorno obstruído contribuiu para uma redução entre 12,6% e 22% da uniformidade na simulação dos modelos.

Especificamente, os resultados foram divididos em: a) análise do desempenho da luz natural em modelos representativos de diferentes períodos, utilizando como base levantamentos prévios de modelos já descritos na literatura existente sobre o assunto; e b) análise de modelos representativos de edifícios, variando os seguintes elementos construtivos: PAF, tipo de vidro e presença de sombreador externo na abertura.

O primeiro bloco de resultados demonstrou que, considerando a configuração sem entorno obstruído e para a orientação Norte, o Modelo 1 apresentou resultados menos expressivos nas faixas de UDI inferior a 100 lux e entre 500 e 2000 lux, sendo 9,6% e 41,5%, respectivamente. No intervalo de UDI entre 100 e 500 e acima de 2000 lux, o Modelo 3 apresentou os maiores resultados, com 46% para a primeira faixa de UDI útil e 8,9% para a última faixa de UDI.

Para a métrica de DA, o primeiro modelo, representativo do período de 1950 a 1979, simulou uma maior quantidade de horas, cerca de 71,5%, quando comparado às demais simulações dos outros modelos. Para a orientação Leste, as porcentagens

foram de 46,6% das horas simuladas com entorno e 65% sem entorno; enquanto para a orientação Oeste, os registros foram de 48,2% e 70% das horas simuladas, considerando com e sem a obstrução do entorno, respectivamente.

As simulações para a orientação Sul, com entorno e sem entorno obstruído, apresentaram, em grande maioria, resultados semelhantes entre si. Para UDI entre 100 e 500 lux, o Modelo 4, representativo do período de 2000 a 2016, com 100% de PAF, apresentou os maiores resultados, sendo 43% das horas simuladas com entorno e 49,4% das horas simuladas sem entorno.

Ainda para a métrica de UDI, porém na faixa entre 500 e 2000 lux, o Modelo 1, representativo do período de 1950 a 1979, apresentou resultados superiores aos demais modelos (30% das horas simuladas com entorno e 41,1% das horas simuladas sem entorno estão nesta faixa). Esse fato é interessante por ser essa uma faixa caracterizada pela dispensa da luz artificial na execução das tarefas.

O Modelo 1, representativo do período mais antigo, apresentou resultados mais expressivos quando analisada a métrica de UDI inferior a 100 lux, com apenas cerca de 19,5% das horas simuladas com entorno e 9,9% das horas simuladas sem entorno, quando orientado para Leste; e 20,2% e 9,2% das horas simuladas com e sem entorno, respectivamente, quando orientado para Oeste.

No intervalo de UDI entre 100 e 500 lux, o Modelo 4, representativo do período de 2000 a 2016, com PAF de 100%, apresentou resultados mais expressivos com fachada orientada para Leste e com a presença do entorno obstruído. Já o Modelo 3, representativo do mesmo período, com PAF de 40%, desempenhou melhor resultado nessa faixa de UDI, cerca de 44,2% das horas simuladas.

De modo geral, o Modelo 4 apresentou maiores índices de uniformidade em relação aos outros modelos, considerando tanto a presença ou não do entorno obstruído. Com relação à métrica de ofuscamento, o Modelo 1, mesmo com o vidro com maior índice de transmitância à luz visível, teve o melhor desempenho em relação aos demais modelos. Observa-se, claramente, pelos resultados de UDI apresentados, considerando a faixa de 100 a 2000 lux, que os edifícios mais novos, dos anos 2000 em diante, são os mais impactados pela presença do entorno.

O segundo bloco de simulações apresentou resultados em função da variação do PAF, do tipo de vidro e da presença ou não de brises horizontais na fachada Norte. Os resultados mostram que para a métrica de UDI inferior a 100 lux, ou seja, UDI

insuficiente, o vidro simples (com TL= 88%) apresenta o melhor desempenho em relação aos demais tipos de vidro, uma vez que a maior quantidade de horas simuladas com essa tipologia se encontra com UDI acima de 100 lux.

Para a faixa de UDI entre 100 e 500 lux, os modelos contemporâneos 4A e 5A, com PAF de 100% e 70%, apresentaram os melhores resultados também com o vidro simples de TL= 88%. Ainda considerando esses modelos com maior PAF, o intervalo de UDI entre 500 e 2000 lux - cuja faixa de UDI é considerada a mais ideal em ambientes internos, dispensando a complementação de luz artificial -, o vidro simples estudado apresentou também os resultados mais significativos, tanto com e sem a presença de brises nas fachadas, quando comparado às outras tipologias de vidro avaliadas.

O vidro simples (com TL= 88%) apresentou, no geral, maiores porcentagens de horas simuladas dentro da faixa estipulada para DA, sendo este modelo de vidro o que apresenta melhor desempenho também nessa métrica. Entretanto, no que diz respeito à uniformidade, o vidro reflexivo estudado (TL= 35%) apresenta o melhor desempenho em relação às outras tipologias de vidro em grande parte das configurações simuladas. A presença de brises horizontais na fachada Norte aumenta o percentual de uniformidade alcançado no interior da sala estudada, principalmente quando associados a vidros com percentual de TL menor.

Pode-se dizer, por exemplo, que considerando os resultados para o pavimento intermediário estudado (5º pavimento), em relação aos níveis de iluminância (500 a 2000 lux) no interior do ambiente, o melhor desempenho foi para a composição de modelos com um maior percentual de abertura de fachada (PAF= 100%), vidro simples (TL= 88%) e sem a presença de brises. Entretanto, observa-se que o uso de brises horizontais, associado ao vidro reflexivo (TL= 35%), além de ser uma estratégia benéfica para a redução da radiação direta incidente na fachada Norte, principalmente em climas tropicais, melhora significativamente o desempenho em relação à uniformidade da luz na sala de trabalho e também reduz o incômodo ocasionado pelo ofuscamento.

Esse fato reforça a constatação de que não há um modelo ideal que atenda ao melhor desempenho da luz em relação a todas as métricas estudadas, ficando a cargo do projetista a definição das estratégias construtivas mais adequadas a cada edificação a ser construída.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das análises e dos dados coletados nesta pesquisa, recomenda-se:

- O direcionamento de trabalhos envolvendo estudos em relação à influência dos percentuais de abertura de fachadas e o uso de vidros com diferentes índices de transmissão à luz visível, em diferentes tipologias de edifícios de escritórios, além das analisadas por esta pesquisa;
- A realização de estudos semelhantes, com simulações integradas de iluminação e eficiência energética;
- A abordagem dos usuários, de forma a verificar a opinião acerca dos aspectos qualitativos do ambiente interno;
- Avaliar estudos similares com outras configurações e geometrias de ambientes internos, a fim de proporcionar uma visão mais abrangente a respeito do tema pesquisado;
- Investigar o desempenho da luz natural em edifícios de escritórios, em outras localidades e em diferentes configurações de entorno.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, I. *et al.* Energy efficiency and lighting design in courtyards and atriums: A predictive method for daylight factors. **Applied Energy** **211**, p. 1216-1228. 2018.

ALBUQUERQUE, Milena Sampaio Cintra de; AMORIM, Cláudia Naves David. 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**, v. 12, n. 2, p. 37-57, 2012.

ALMEIDA, F. M. F. F. ILUMINAÇÃO HOSPITALAR: A qualidade da luz natural e artificial em salas de quimioterapia ambulatorial. 2014. Tese (Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo, 2014.

AMORIM, C. N. D. Diagrama morfológico, parte I. Instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural. **Revista Paranoá**, n 3, 2007.

ANDRADE, C. M. A. **Avaliação da ocupação física dos espaços de escritório utilizando métodos quali-quantitativos** – O caso da Editora Abril em São Paulo. 2007. Tese (Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo, 2007.

ARCHIDAILY. **São Paulo Corpotate Towers/Pelli Clarke Pelli Architctcts + Aflalo/Gasperini arquitetos**. 2016. Disponível em: [archdaily.com.br/br/799358/são-paulo-yowers](http://archdaily.com.br/br/799358/são-paulo-yowers). Acesso em: 05 de Novembro de 2019.

ARSENAUT, H.; HÉBERT, M.; DUBOIS, M. C. Effects of glazing colour type on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms. **Building and Environment**, n. 56, p. 223-231, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBBR ISSO/CIE 8995-1**. Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BAKER, M.; STEEMERS, K. **Daylight Design of buildings**. London: James & James Ltd., 2002.

BARBOSA, C. V. T. **Percepção da Iluminação no Espaço da Arquitetura: Preferências Humanas em Ambientes de Trabalho**. 2010. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo, 2010.

BAVARESCO, M. V. **Influência da interação dos usuários com elementos internos de sombreamento na eficiência energética de edificações comerciais**. 2016. Tese (Dissertação Mestrado em engenharia civil), Programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade federal de Santa Catarina. Florianópolis, Sanata Catarina, 2016.

BERARDI, U.; ANARAKI, H. K. Analysis of the Impacts of Light Shelves on the Useful Daylight Illuminance in Office Buildings. **Toronto. Energy Procedia**, v. 78, p.1793-1798, nov. 2015.

BERNABÉ, A. C. A. **A influência da envoltória no consumo de energia em edifícios comerciais artificialmente climatizados na cidade de Vitória-ES**. 2012. Tese (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo, 2012.

BESTETTI, Maria Luisa Trindade. **Ambiência: espaço físico e comportamento**. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 17, n. 3, p. 601-610, 2014.

BOGO, J. A. **Método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com elementos de controle solar**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.

BOYCE, P. R. **Human Factors in Lighting**. 3.ed. New York: Taylor & Francis Group, 2014.

CARTANA, R.; PEREIRA, F. Elementos de controle solar desenvolvidos com modelagem paramétrica e algoritmos evolutivos. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas**, v. 7, n. 3, fev. 2016. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647516>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

CASAGRANDE, B. G. **Cenários climáticos futuros: diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético de edifícios comerciais no Brasil para o século XXI**. 2013. Tese (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo. 2013.

CORBELLA, O. D. E; CASTANHEIRA, R. G. Sobre a necessidade de proteção da radiação solar incidente nas fachadas Sul, para edifícios situados entre as latitudes 10° e 35°. *In*: VI Encontro Nacional E III Encontro Latino-Americano Sobre Conforto No Ambiente Construído, 2001, São Paulo. **Anais [...]**. São Pedro: SP, 2001.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos**. Editora Revan: Rio de Janeiro, 2003.

DANIELESKI, C. B *et al.* Desempenho lumínico: avaliação de variáveis do ambiente interno de uma sala de aula. *In*: XIV ENCAC & X ELACAC: Habitat Humano: em busca de conforto ambiental, eficiência energética e sustentabilidade no século XXI, 2017, Balneário Camboriú. **Anais [...]**. Balneário Camboriú: Santa Catarina, 2017.

DIAS, A. R. D. *et a.*, A. Influência de métricas dinâmicas na avaliação do aproveitamento da luz natural em clima tropical. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 29-47, jul./set. 2018.

DIDONÉ, E.L. (2009). A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC. 2009. Tese (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009.

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**, v. 10, n. 4, p. 139-154, 2010.

EARLY OF FICE MUSEUM. **Early Office Museum Lobby**. 2016. Disponível em: officemuseum.com. Acesso em : 15 de novembro de 2019.

ESPÍRITO SANTO. **Informações municipais do estado do Espírito Santo**. 1992. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/bibliotecaonline/Record/214> . Acesso em: 19 de março de 2019.

FASSINA, S. P. **Qualificação dos dispositivos de fachada quanto à disponibilidade de luz natural: o caso do Instituto Federal do Espírito Santo campus Colatina**, 2017. Tese (Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Vila Velha. Vila-Velha, Espírito Santo, 2017.

FONSECA, R. W. **Iluminação natural e consumo energético de edificações não residenciais: aplicação de redes neurais artificiais**, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2015.

FONTENELLE, Marília Ramalho; BASTOS, Leopoldo Eurico Gonçalves. The multicriteria approach in the architecture conception: Defining windows for an office building in Rio de Janeiro. **Building and Environment**, v. 74, p. 96-105, 2014.

FOSSATI, M; LAMBERTS, R; Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 59-69, abr./jun. 2010.

GARCIA, D. L. R., PEREIRA, F. O. R. Avaliação energética, térmica e lumínica de dispositivos de sombreamento em escritórios. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**, Foz do Iguaçu :Porto Alegre, 2018.

HOLANDA, M. de. **Clássicos da Arquitetura: Edifício Seagram**. 2012. Disponível em: [archdaily.com.br/br/01-80964/clássicos-da-arquitetura-edificio-seagram-miesvan-der-rohe](http://archdaily.com.br/br/01-80964/clássicos-da-arquitetura-edificio-seagram-miesvan-der-rohe). Acesso em: 10 de Novembro de 2019.

HORMAIN, D. da R. R. L. - **O relacionamento Brasil – EUA e a arquitetura moderna: Experiências compartilhadas**, 2012. Tese Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. UFRJ. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro , 2012.

HORSCHUTZ, A. M. C. L. **Ocupação de Edifícios de Escritórios Corporativos em São Paulo: O caso do edifício IBM Tutóia**. 2007. Tese. (Dissertação de Mestrado). Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, São Paulo. 2007. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads>. Acesso em: 18 fev. 2013.

INNES, M. **Lighting for Interior Design**. Londres: Laurence King Publishing. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. 2019. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 22 de Agosto de 2019.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. F. The 'adaptive zone' – A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. **Lighting Research and Technology**, n.44, p.149- 170, 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo, 2014.

LARANJA, A. C. **Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno**. 2010. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. UFRJ. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2010.

LARANJA, A.C. *et al.* Análise da influência da variação das superfícies refletoras na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno e na extensão de sua profundidade. **Labor & Engenho**, v.10, n.1, p. 31-45, 2016.

LARANJA, A. C.; GAZZANEO, L. M. C.; CABÚS, R. C. Interferências da largura das vias na disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno. **Revista Labor & Engenho**, n.1, v.3, p.55-69, 2009.

LI, D. H. W; TSANG, E. K. W. An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. **Building and Environment**, n. 43, p. 1446–1458, 2008.

LIMA, M. R. C. de. **Percepção visual aplicada à arquitetura e à iluminação**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2010.

LIMA, K. M. **Avaliação de sistemas de janela para suporte a decisões de projeto quanto à iluminação e uso de energia**. 2016. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-30062016-105936/pt-br.php>>. Acesso em: 1 abr. 2020.

MAIOLI, R. **Avaliação da influência do dispositivo prateleira de luz no conforto visual em edificação comercial com entorno obstruído**. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo, 2014.

MAIOLI, R. N. *et al.* **A transformação da fachada na tipologia construtiva de edifícios comerciais verticais em Vitória - ES e sua relação com o conforto**

**ambiental. In: Marcia Regina Werner Schneider Abdala.** Complementaridade: Arquitetura, Engenharia e Construção. 1ed.Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.

MICHELATO, Rubia. **Avaliação do desempenho térmico de vidros refletivos: estudo de caso em células-teste.** 2007. Tese (Tese de mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia).Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo. 2007

NABIL, A. e MARDALJAVIC, J. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, London: **Elsevier**, v. 38, p. 905-913, 2006.

NEGRÃO, Ana Teresa Luis. **O Impacto da Luz Artificial nos Espaços Arquitectónicos. Para Uma Metodologia de Projecto de Iluminação Integrada na Concepção Arquitectónica.** 2013. Tese (Dissertação de Mestrado Técnico) Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2013.

NEUMAN, R. M. **Hoteling and hot decking solutions for offices with limited space.** 2012. Disponível em: [ownersrepy.com/2012/01/26/hoteling-and-hot-desking-solutions-for-offices-with-limited-space](http://ownersrepy.com/2012/01/26/hoteling-and-hot-desking-solutions-for-offices-with-limited-space). Acesso em : 10 de Novembro de 2019.

PEREIRA, D. C. L. **Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para a avaliação do desempenho luminoso.** 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo, 2017.

PREFEITURA DE VITÓRIA. Lei nº9.271/2018 de 22 de maio de 2018. Aprova o Plano Diretor Urbano do Município de Vitoria e dá outras providências. Revogando a Lei nº 6.705, de 2006.-PDU. **Diário Oficial do Município de Vitória.**2018. Disponível em: <http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/Arquivos/2018/L9271.PDF>. Acesso em : 15 de março de 2019.

REINHART, C. F.*et al.* **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design.** Institute for research in Construction National Research Council Canada,; Canadá, 2002.

REINHART, C.F; MARDALJEVIC, J. ; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance For Office Buildings in Hong Kong. **Building and Environment**, n.43, p.1446-1458.2008.

RIBEIRO, P. V. S.; CABÚS, R. C. Análise da influência da malha de pontos em índices de avaliação de desempenho da luz natural. **Ambinete Construído**, v.19 n.4, p.317-333,2019.

SADER, Ana Paula Cabral. **A desterritorialização do escritório na era da informação: trabalho, tecnologia e cultura organizacional.** 2007. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo, 2007.

SANTOS, C. M. L. **O projeto de iluminação para edifícios de escritórios - Influência das variáveis arquitetônicas no comportamento da luz natural e**

**conforto visual. Dissertação de mestrado**, 2007. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. UFRJ. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SILVESTRE, S. M. S.; PEREIRA, F. O. R. Avaliação da irradiação solar e do potencial fotovoltaico na envoltória de edifícios residenciais. *In: XV ENCAC: Encontro nacional de Conforto no Ambiente Construído*, 2014, Maceió. **Anais [...]**, Maceió, Alagoas 2014.

SOLEMMA LLC. **Diva for Rhino: Environmental Analysis for Buildings**. v. 4.0. 2016. Disponível em: <http://diva4rhino.com/>. Acesso em: 25 de março de 2020.

TURNER, A. J. **A guid to free addressworkspace**. 2017. Disponível em: [anitainsigts.com/blog/free-adress-workspace\\*guide](http://anitainsigts.com/blog/free-adress-workspace*guide). Acesso em : 25 de Novembro de 2019.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. 3a. ed. São Paulo: Geros s/c Ltda, 2007.

ZAMBRANO, L. *et al.*. Análise do processo de verticalização e ventilação urbana: caso da avenida Barão do Rio Branco em Juiz de Fora – MG. *In: ENCAC: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*, 2017, Balneario Caboriu. **Anais [...]**. Balneário Camboriu,, Santa Catarina, 2017.