

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Elaise Gabriel

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE
ILUMINAÇÃO LATERAL EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS
NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

**Santa Maria, RS
2020/1**

Elaise Gabriel

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE
ILUMINAÇÃO LATERAL EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS
NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Giane de Campos Grigoletti

**Santa Maria, RS
2020/1**

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Gabriel, Elaise
ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO
LATERAL EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2 /
Elaise Gabriel.- 2020.
205 p.; 30 cm

Orientadora: Giane de Campos Grigoletti
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2020

1. Iluminação natural 2. Iluminação artificial 3.
Condicionamento de ar 4. Simulações termo-energéticas I.
de Campos Grigoletti, Giane II. Título.

sistema de geração automática de ficha catalográfica da unam. dados fornecidos pelo autor(a). sob supervisão da direção da divisão de processos técnicos da biblioteca central. bibliotecária responsável: vaula schoenfeldt vatta cma 10/1728.

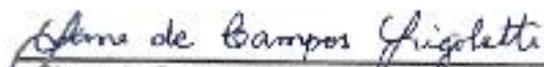
Declaro, ELAISE GABRIEL, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

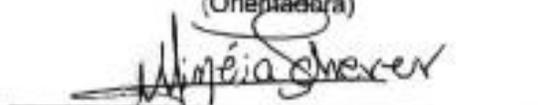
Elaise Gabriel

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO
LATERAL EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS NA ZONA
BIOCLIMÁTICA 2**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 03 de março de 2020.


Glane de Campos Grigoletti, Drª. (UFSM)
(Orientadora)


Minéia Johann Scherer, Drª. (UFSM)


Eduardo Graça da Cunha, Dr. (UFPel)

Santa Maria, RS
2020/1

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus agradecimentos a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização dessa pesquisa.

A minha orientadora, Dr^a. Giane de Campos Grigoletti, pela confiança depositada e por todo apoio e considerações extremamente significativas ao longo desses dois anos.

A Universidade Federal de Santa Maria, que desempenha um papel imprescindível pelo bem da ciência, principalmente em momentos difíceis, como os atuais, que oportunizou o desenvolvimento desta pesquisa em suas dependências, disponibilizando a estrutura necessária.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, seus professores e à secretária Luciane, que sempre resolveu todos os problemas prontamente, facilitando todo o processo da pesquisa.

Aos meus pais, Maria e Ivanir, por acreditar, incentivar e apoiar a concretização dos meus objetivos e, por mesmo de longe, se esforçarem para entender todas as burocracias que a pós-graduação envolve. Amo vocês.

Aos meus amigos, Gabriela Meller, Isabela Naia, Liliane Buligon, Bruna Zambonato, Selton Fernandes, Helena Gabriel, Paula Fensterseifer, pelas parcerias e risadas durante toda essa jornada. Valeu galera!

Aos meus amigos de fora da pós-graduação Karla Catanio, Clarissa Brandão, Lunna Iser, Tayla Dalla Líbera, Jamilly Specht, Eduardo Sampaio, Patrícia Rodrigues, Ben-Hur Nakagawa, pelos incentivos e papéis proporcionados nesses dois anos, vocês com certeza fizeram esse caminho ser mais fácil (a maioria mesmo de longe e fica aqui a intimação para virem me visitar).

A Paola Trindade, muito obrigada por ter se tornado esse porto seguro durante os últimos meses e por todas as ajudas, desde as mudanças (várias) até as parcerias de estudos durante os fins de semana. Aos seus pais Beto e Andreia, que se tornaram família nesse finalzinho de mestrado e me fizeram sentir tão acolhida longe da minha família.

A Renata Mansuelo, Emeli da Guarda, pelas parcerias interestaduais e pelas publicações. Que continuemos essa equipe nota mil.

Aos amigos do Mato Grosso, que mesmo distantes, foram muito presentes durante esses dois anos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A aqueles que por algum motivo do destino não estão mais presentes na minha vida, mas que participaram de alguma etapa dessa pesquisa.

A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO LATERAL EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2

AUTORA: Elaise Gabriel

ORIENTADORA: Giane de Campos Grigoletti

Nas edificações comerciais, a luz natural possui grande importância por estar abundantemente disponível durante os horários de ocupação desses edifícios. Todavia, a iluminação artificial dos ambientes é responsável por grande parte do consumo energético, principalmente por essas edificações não fazerem o uso integrado de ambas formas de iluminação. O uso da luz natural, além de proporcionar níveis apropriados para a realização das atividades humanas, reduz a necessidade do uso da luz artificial, que pode ser controlada de forma eficiente por meio de sistemas de iluminação, dimensionamento correto de aberturas e uso de dispositivos de sombreamento, interferindo também, nos ganhos térmicos da edificação e no consumo total de energia. Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de uma sala comercial, localizada na zona bioclimática 2, a partir da influência da utilização integrada de luz natural e artificial com condicionamento de ar, com diferentes tipologias de vidros e dispositivos de sombreamento de aberturas. A metodologia foi baseada na avaliação e comparação do desempenho lumínico e energético de modelos com diferentes variáveis, por meio da simulação computacional no programa DesignBuilder. Os resultados mostraram que vidros com Transmissão de Luz Visível (TV) de 0,13 e 0,52 apresentam redução dos níveis de iluminância úteis (UDI) com a utilização de sombreamento, já vidros com TV mais elevado apresentam aumento dos níveis de UDI com a utilização de brises. Além disso, foi possível identificar o impacto do aproveitamento da iluminação natural no consumo energético total, por meio das simulações integradas, cerca de 79% de economia por iluminação artificial. Um outro resultado foi a utilização dos dispositivos de sombreamento, que possibilitaram a diminuição de até 88,45% no consumo de energia por ar condicionado. O uso do controle do sistema de iluminação artificial por meio de sensores proporcionou uma redução no consumo de energia com iluminação artificial além de influenciar o comportamento térmico do ar condicionado. Este trabalho possibilita o incentivo para a inclusão de estratégias de redução de consumo e melhoria da eficiência energética de edificações.

Palavras-chave: Iluminação natural. Iluminação artificial. Condicionamento de ar. Simulações termo-energéticas.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF SIDE LIGHTING SYSTEMS IN COMMERCIAL BUILDINGS IN THE BIOCLIMATIC ZONE 2

AUTORA: Elaise Gabriel

ORIENTADORA: Giane de Campos Grigoletti

Numerous buildings have high rates of waste of electricity, as well as opportunities to save energy by not considering bioclimatic, passive and / or active strategies. In commercial buildings, daylight plays a major role because it is abundantly available during the occupation hours of these buildings. However, artificial lighting is responsible for a large portion of the energy consumption, mainly because these buildings do not make the integrated use of both forms of lighting. The use of daylight, in addition to providing appropriate illuminance levels for the performance of human activities, also reduces the need for the use of artificial light, which can be efficiently controlled by lighting systems, correct sizing of openings and use of shading devices, thus interfering with the building's thermal gains and total energy consumption. This work aims to evaluate the thermal performance of a commercial room, located at the Bioclimatic Zone 2, within the influence of the integrated use of natural and artificial light with air conditioning, with different types of glass and opening shading devices. The methodology was based on the evaluation and comparison of the luminous and energetic performance of models with different variables, through computational simulation in the DesignBuilder. The results showed that glasses with VLT of 0.13 and 0.52 show a reduction in the levels of UDI with the use of shading, whereas glasses with a higher VLT show an increase in the levels of UDI with the use of brises. In addition, it was possible to identify the impact of using daylighting on total energy consumption, through integrated simulations, about 79% savings by artificial lighting. Another result was the use of shading devices, which allowed a reduction of up to 88.45% in energy consumption by air conditioning. The use of artificial lighting system control through sensors provided a reduction in energy consumption with artificial lighting as well as influencing the thermal behavior of the air conditioner. This work allowed the incentive for the inclusion of strategies to reduce consumption and improve the energy efficiency of buildings.

Keywords: Daylighting. Artificial lighting. Air conditioning. Thermo-energetic simulations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro eletromagnético (comprimento de onda em nanômetros)	34
Figura 2 - Troca de calor através de vedações opacas	52
Figura 3 - Trocas térmicas em fechamentos transparente.....	54
Figura 4 - Geometria da insolação - ângulos	64
Figura 5 - Carta solar e transferidor de ângulos	65
Figura 6 - Exemplos de brises verticais e horizontais com máscara de sombreamento	66
Figura 7 - Fluxograma das etapas do método proposto para esta pesquisa	80
Figura 8 - Planta baixa do pavimento tipo do edifício de escritório representativo	81
Figura 9 - Temperaturas críticas e carta solar de Santa Maria - RS.....	84
Figura 10 – Vista em corte das aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação oeste e leste (verticais e horizontal).	85
Figura 11 – Vista frontal das aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação oeste e leste (verticais e horizontal).	85
Figura 12 – Vista em planta das aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação oeste e leste (verticais e horizontal).	86
Figura 13 – Vista em corte para as aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação norte (horizontais).	87
Figura 14 - Vista frontal das aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação norte (horizontais).	88
Figura 15 - Vista em planta das aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação norte (horizontais).	89
Figura 16 - Máscara de sombreamento para norte.....	90
Figura 17 - Máscara de sombreamento para oeste	90
Figura 18 - Percentual de abertura na fachada (PAF) está representado em azul	91
Figura 19 - Aba para inserção dos parâmetros de iluminação natural.....	92
Figura 20 – Planta baixa representando a posição dos sensores de iluminação natural	94
Figura 21 - Iluminâncias úteis em relação a área de abertura	100

Figura 22 - Mapas de UDI para abertura 40% e orientação norte.....	104
Figura 23 - Mapas de UDI para abertura 40% e vidro SP	106
Figura 24 - Mapas de UDI para vidro SP e orientação norte.....	107
Figura 25 - Mapa de iluminâncias para abertura 40% e orientação norte	109
Figura 26 - Mapas de níveis de iluminância para 40% e SinglePane.....	110
Figura 27 - Mapas de níveis de iluminância para vidro SinglePane e orientação norte	111
Figura 28 - Mapas de UDI para abertura 40% e orientação norte com sombreamento	117
Figura 29 - Mapas de UDI para vidro SinglePane e orientação norte sem e com dispositivos de sombreamento	118
Figura 30 - Mapas de níveis de iluminância para vidro SinglePane e orientação norte com dispositivos de sombreamento.....	122
Figura 31 - Mapas de níveis de iluminância para abertura 40% e orientação norte	123
Figura 32 - Consumo de energia para iluminação artificial e natural.....	128
Figura 33 - Consumo de energia para iluminação artificial e natural com dispositivos de sombreamento.....	130
Figura 34 - Consumo de energia elétrica por aquecimento artificial para todas as tipologias de vidros e percentuais de abertura	134
Figura 35 - Consumo de energia elétrica por resfriamento artificial para todas as tipologias de vidros e percentuais de abertura	137
Figura 36 - Porcentagem de consumo de energia para vidro GuardianBlue em relação aos percentuais de abertura	139
Figura 37 - Porcentagem de consumo de energia para vidro GuardianBlue em relação as orientações solares	140
Figura 38 - Porcentagem de consumo de energia para as diferentes tipologias de vidro.....	141
Figura 39 - Consumo de energia elétrica por aquecimento artificial para todas as tipologias de vidros e percentuais de abertura para dispositivos de sombreamento ...	144

Figura 40 - Consumo de energia elétrica por resfriamento artificial para todas as tipologias de vidros e percentuais de abertura para dispositivos de sombreamento....	146
Figura 41 - Porcentagem de consumo de energia para vidro GuardianBlue em relação as orientações solares com dispositivos de sombreamento.....	148
Figura 42 - Porcentagem de consumo de energia para vidro GuardianBlue em relação aos percentuais de abertura com dispositivos de sombreamento	149
Figura 43 - Porcentagem de consumo de energia para as diferentes tipologias de vidro com dispositivos de sombreamento	150
Figura 44 - Mapa de UDI para o vidro CebracePN, 40%, para todas as orientações	173
Figura 45 - Mapa de UDI para o vidro CebraceSKN, 40%, para todas as orientações	173
Figura 46 - Mapa de UDI para o vidro GuardianBlue, 40%, para todas as orientações	174
Figura 47 - Mapa de UDI para o vidro CebracePN, 50%, para todas as orientações	174
Figura 48 - Mapa de UDI para o vidro CebraceSKN, 50%, para todas as orientações	175
Figura 49 - Mapa de UDI para o vidro GuardianBlue, 50%, para todas as orientações	175
Figura 50 - Mapa de UDI para o vidro SinglePane, 50%, para todas as orientações	176
Figura 51 - Mapa de UDI para o vidro CebracePN, 60%, para todas as orientações	176
Figura 52 - Mapa de UDI para o vidro CebraceSKN, 60%, para todas as orientações	177
Figura 53 - Mapa de UDI para o vidro GuardianBlue, 60%, para todas as orientações	177
Figura 54 - Mapa de UDI para o vidro SinglePane, 60%, para todas as orientações	178
Figura 55 - Mapas de iluminância para abertura 40% e vidro CebracePN	179

Figura 56 - Mapas de iluminância para abertura 40% e vidro CebraceSKN	179
Figura 57 - Mapas de iluminância para abertura 40% e vidro GuardianBlue	180
Figura 58 - Mapas de iluminância para abertura 50% e vidro CebracePN.....	180
Figura 59 - Mapas de iluminância para abertura 50% e vidro CebraceSKN	181
Figura 60 - Mapas de iluminância para abertura 50% e vidro GuardianBlue	181
Figura 61 - Mapas de iluminância para abertura 50% e vidro SinglePane	182
Figura 62 - Mapas de iluminância para abertura 60% e vidro CebracePN.....	182
Figura 63 - Mapas de iluminância para abertura 60% e vidro CebraceSKN	183
Figura 64 - Mapas de iluminância para abertura 60% e vidro GuardianBlue	183
Figura 65 - Mapas de iluminância para abertura 60% e vidro SinglePane	184
Figura 66 - Mapas de UDI para vidro CebracePN e orientação norte com dispositivos de sombreamento	185
Figura 67 - Mapas de UDI para vidro CebracePN, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento	185
Figura 68 - Mapas de UDI para vidro CebraceSKN e orientação norte com dispositivos de sombreamento	186
Figura 69 - Mapas de UDI para vidro CebraceSKN, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento	186
Figura 70 - Mapas de UDI para vidro GuardianBlue e orientação norte com dispositivos de sombreamento	187
Figura 71 - Mapas de UDI para vidro GuardianBlue, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento	187
Figura 72 - Mapas de UDI para vidro SinglePane, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento	188
Figura 73 - Mapas de iluminância para abertura 40% e vidro CebracePN com dispositivos de sombreamento	189
Figura 74 - Mapas de iluminância para vidro CebracePN, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento.....	190
Figura 75 - Mapas de iluminância para norte e vidro CebraceSKN com dispositivos de sombreamento	190

Figura 76 - Mapas de iluminância para vidro CebraceSKN, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento	191
Figura 77 - Mapas de iluminância para abertura 40% e vidro GuardianBlue com dispositivos de sombreamento	191
Figura 78 - Mapas de iluminância para vidro GuardianBlue, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento	192
Figura 79 - Mapas de iluminância para vidro SinglePane, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência térmica superficial	53
Tabela 2 - Programas de simulação computacional de iluminação natural dinâmica	68
Tabela 3 – Características físicas dos fechamentos opacos	82
Tabela 4 - Característica dos vidros de controle solar selecionados	83
Tabela 5 - Parâmetros inseridos na simulação do ambiente de iluminação	92
Tabela 6 – Combinação para análise da influência do vidro na entrada de iluminação natural	94
Tabela 7 - Combinação para análise da influência do vidro no consumo de iluminação artificial com iluminação natural	95
Tabela 8 - Combinação para análise da influência das proteções solares na entrada de iluminação natural	95
Tabela 9 - Combinação para análise da influência das proteções solares no consumo de iluminação artificial com natural	96
Tabela 10 - Combinação para análise da influência do vidro no consumo de ar condicionado com iluminação artificial e iluminação natural	97
Tabela 11 - Combinação para análise da influência do vidro no consumo de ar condicionado com iluminação artificial e iluminação natural	97
Tabela 12 - Tabela geral de simulações	98
Tabela 13 - Iluminâncias úteis (UDI) em relação a área de abertura (%)	101
Tabela 14 - Dimensões das aberturas adotadas em metros	101
Tabela 15 - Níveis de iluminâncias úteis (UDI)	102
Tabela 16 - Níveis de iluminância mínima e máxima	108
Tabela 17 - Níveis de sDA	112
Tabela 18 - Níveis de iluminâncias úteis (UDI) para abertura de 40% com e sem dispositivos de sombreamento	113
Tabela 19 - Níveis de iluminâncias úteis (UDI) para abertura de 50% com e sem dispositivos de sombreamento	114

Tabela 20 - Níveis de iluminâncias úteis (UDI) para abertura de 60% com e sem dispositivos de sombreamento	115
Tabela 21 - Níveis de iluminâncias mínimas e máximas para abertura 40% com e sem brises	119
Tabela 22 - Níveis de iluminâncias mínimas e máximas para abertura 50% com e sem brises	120
Tabela 23 - Níveis de iluminâncias mínimas e máximas para abertura 60% com e sem brises	120
Tabela 24 - Autonomia de luz (sDA) para abertura de 40% com e sem brises ...	124
Tabela 25 - Autonomia de luz (sDA) para abertura de 50% com e sem brises ...	125
Tabela 26 - Autonomia de luz (sDA) para abertura de 60% com e sem brises ...	125
Tabela 27 - Consumo de energia elétrica por integração de luz artificial com natural em kWh/m ² /ano	127
Tabela 28 - Porcentagem de redução do consumo de energia elétrica em relação ao consumo de luz artificial de referência em função da tipologia de vidro	129
Tabela 29 - Consumo de energia para iluminação artificial e natural com dispositivos de sombreamento em kWh/m ² /ano.....	131
Tabela 30 – Porcentagem de aumento de consumo por iluminação artificial e natural entre modelos sem e com dispositivos de sombreamento	132
Tabela 31 - Consumos de energia elétrica por aquecimento artificial em kWh/m ² /ano	135
Tabela 32 - Porcentagem de redução de consumo de energia elétrica por aquecimento artificial em relação a abertura de 40%	136
Tabela 33 - Consumos de energia elétrica por resfriamento artificial em kWh/m ² /ano	137
Tabela 34 - Porcentagem de aumento de consumo de energia elétrica por resfriamento artificial em relação a abertura de 40%.....	138
Tabela 35 - Consumos de energia elétrica por iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais para os meses do ano em kWh/m ² para o vidro SinglePane ...	142
Tabela 36 - Consumos de energia elétrica por aquecimento artificial com dispositivos de sombreamento em kWh/m ² /ano	144

Tabela 37 - Porcentagem de aumento de consumo por aquecimento artificial entre modelos sem e com dispositivos de sombreamento	145
Tabela 38 - Consumos de energia elétrica por resfriamento artificial com dispositivos de sombreamento em kWh/m ² /ano	146
Tabela 39 - Porcentagem de redução de consumo por resfriamento artificial entre modelos sem e com dispositivos de sombreamento	147
Tabela 40 - Consumos de RA, AA e IA para modelos sem e com dispositivos de sombreamento em kWh/m ² /ano	150
Tabela 41 - Diferenças entre os consumos de RA e AA entre modelos sem brises para modelos com brises kWh/m ² /ano	152
Tabela 42 - Consumo total de RA, AA e IA em kWh/m ² /ano	153
Tabela 43 - Combinação das melhores soluções de acordo com PAF e tipologia de vidro	154
Tabela 44 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 40%.....	195
Tabela 45 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 50%.....	196
Tabela 46 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 60%.....	197
Tabela 47 - Consumos de energia elétrica por iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais para os meses do ano em kWh/m ² para o vidro CebracePN....	199
Tabela 48 - Consumos de energia elétrica por iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais para os meses do ano em kWh/m ² para o vidro CebraceSKN .	200
Tabela 49 - Consumos de energia elétrica por iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais para os meses do ano em kWh/m ² para o vidro GuardianBlue	201
Tabela 50 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 40% com dispositivos de sombreamento.....	203
Tabela 51 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 50% com dispositivos de sombreamento.....	204
Tabela 52 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 60% com dispositivos de sombreamento.....	204

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Aquecimento Artificial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEN	Balanco Energético Brasileiro
EBC	Energy in Buildings and Communities Programme
FS	Fator de Calor Solar
FS	Fator Solar
GB	GuardianBlue
IA	Iluminação Artificial
IEA	International Energy Agency
IS	Índice de Seletividade
PAF	Percentual de Abertura na Fachada
PN	CebracePN
RA	Resfriamento Artificial
SKN	CebraceSKN
SP	SinglePane
TV	Transmissão de Luz Visível
U	Transmitância Térmica
UDI	Iluminância útil
VLT	Visual Light Transmittance
WWR	Window-to-Wall Ratio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.1 OBJETIVOS.....	31
1.1.1 Objetivo geral.....	31
1.1.2 Objetivos específicos.....	31
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	32
2 REVISÃO DA LITERATURA	33
2.1 LUZ NATURAL E ARTIFICIAL.....	33
2.2 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO E DO ENTORNO QUE INFLUENCIAM A LUZ NATURAL.....	38
2.2.1 Entorno.....	39
2.2.2 Formato do ambiente interno.....	40
2.2.3 Aberturas.....	41
2.2.4 Superfícies refletoras.....	42
2.3 AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL.....	42
2.4 DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES.....	45
2.5 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO.....	46
2.5.1 Ocupação e cargas internas.....	47
2.5.2 Orientação solar.....	49
2.5.3 Envoltória.....	50
2.6 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO.....	57
2.6.1 Distribuição de temperatura.....	58
2.6.2 Graus-hora.....	59
2.6.3 Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C).....	61
2.7 PROTEÇÕES SOLARES E VIDROS.....	62
2.8 SIMULAÇÕES.....	66
2.9 PESQUISAS CORRELATAS.....	70
2.9.1 Pesquisas sobre integração de iluminação natural e artificial.....	70

2.9.2 Pesquisas sobre integração de condicionamento artificial com iluminação artificial e natural	72
2.9.3 Pesquisas sobre o uso de proteções solares	74
3 METODOLOGIA	79
3.1 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO	81
3.2 SIMULAÇÕES DE PERCENTUAL DE ABERTURA NA FACHADA	90
3.3 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL.....	91
3.3.1 Interreflexão	92
3.3.2 Divisão do ambiente e amostragem do ambiente	93
3.3.3 Precisão e resolução	93
3.3.4 Fonte direta e amostragem direta	93
3.4 SIMULAÇÕES DO AMBIENTE TÉRMICO.....	96
4 RESULTADOS	99
4.1 PERCENTUAL DE ABERTURA NA FACHADA (PAF).....	99
4.2 ILUMINAÇÃO NATURAL	101
4.2.1 Influência dos vidros na iluminância útil (UDI) e nos níveis de iluminância (E) 101	
4.2.2 Influência dos vidros na autonomia de luz (sDA)	111
4.2.3 Influência dos brises na iluminância útil (UDI) e nos níveis de iluminância (E) 113	
4.2.4 Influência dos brises na autonomia de luz (sDA)	124
4.3 ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL.....	126
4.3.1 Influência dos vidros no consumo de energia elétrica na integração de luz natural e artificial	127
4.3.2 Influência dos brises no consumo de energia elétrica na integração de luz natural e artificial	129
4.4 INTEGRAÇÃO DE CONDICIONAMENTO DE AR COM ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL	133
4.4.1 Influência dos vidros no consumo de energia elétrica na integração de luz natural e artificial com condicionamento de ar	133

4.4.2 Influência dos brises no consumo de energia elétrica na integração de luz natural e artificial com condicionamento de ar	143
5 CONCLUSÕES.....	157
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	159
REFERÊNCIAS.....	161
APÊNDICE A	173
APÊNDICE B	179
APÊNDICE C	185
APÊNDICE D	189
APÊNDICE E	195
APÊNDICE F.....	199
APÊNDICE G.....	203

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e a descoberta de novos materiais, o projeto e execução de edificações têm se desassociado do ambiente natural, não tendo como base o clima local e os materiais disponíveis na região, o que acarreta projetos com baixo índice de conforto térmico e elevado consumo de energia elétrica para condicionar e iluminar artificialmente as edificações. A energia é usada nas edificações na forma de eletricidade, com a função de operar quaisquer tipos de equipamentos que seus usuários desejam utilizar, podendo ser divididos em cargas térmicas como sistemas de iluminação, condicionamento de ar, equipamentos, máquinas, entre outros.

A disponibilidade de recursos energéticos é um fator determinante no desenvolvimento dos países, sejam desenvolvidos ou em desenvolvimento. O Relatório de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (UNITED NATIONS, 2015) traz diversas propostas, como a sustentabilidade de cidades e comunidades e energia limpa e acessível, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental gerado pelo consumo de energia da população mundial.

De acordo com Allouhi et al. (2015), as edificações caracterizam o setor com maior consumo energético e emissões de gases de efeito estufa mundialmente. Além do elevado consumo, a preocupação se dá devido ao contínuo aumento do consumo de energia das edificações, o que demonstra a necessidade de construções energeticamente mais eficientes (EBC, 2014).

O consumo final de energia, de acordo com o International Energy Agency - IEA (2018), referente ao ano de 2016, indica uma demanda de 49,25% pelos setores residencial, comercial e público. De acordo com o relatório do Balanço Nacional de Energia – BEN (BRASIL, 2019), com ano base de 2018, o setor comercial é responsável pelo consumo de 16,9% do total de energia elétrica consumida no Brasil, sendo o terceiro setor que mais consome no país, ficando atrás apenas dos setores industrial e residencial.

O consumo de energia em edifícios comerciais é dado em função de variáveis que utilizam diretamente a energia, como os sistemas de iluminação artificial, aparelhos de ar condicionado e equipamentos eletrônicos. A envoltória do edifício desempenha um papel

importante na eficiência energética da edificação, pois é responsável pelas trocas térmicas entre o exterior e o interior. Uma envoltória adequada ao clima reduz a demanda de aquecimento e resfriamento e carga de iluminação (BATRA; SINGHAL, 2017). A partir disso, deve-se pensar na eficiência energética de edificações comerciais de forma holística, de maneira que os ambientes possam promover o conforto do usuário com o menor consumo de energia elétrica possível, por meio da utilização de sistemas eficientes de iluminação e ar condicionado.

Diversas estratégias podem ser aplicadas com o intuito de melhorar o desempenho energético de edificações. Fatores como a orientação solar das fachadas são de extrema importância na análise do seu desempenho térmico, já que cada face da envoltória recebe radiação solar de forma diferenciada. Além dessa, uma estratégia de grande utilização é o aproveitamento da luz natural em ambientes internos. Não fazer uso da iluminação natural acarreta impactos negativos a eficiência energética da edificação, pois resulta em maior consumo por iluminação artificial (GAGO et al., 2015).

Segundo Altan, Mohelnikova e Hofman (2015), o acoplamento da análise térmica e da luz do dia nos estágios iniciais do projeto do edifício pode ser útil para otimizar a ocupação com eficiência energética, juntamente com o conforto térmico e visual interno dos habitantes.

Em relação ao controle da entrada de luz natural nos ambientes internos, os elementos de proteção solar caracterizam uma estratégia importante no seu aproveitamento em momentos propícios. Principalmente em edificações comerciais, devido ao seu horário de funcionamento, geralmente diurno, utilizar a iluminação natural de forma adequada é imprescindível para aumentar a eficiência energética.

Além das proteções solares, outro elemento de importância relevante no controle das cargas térmicas na edificação é o vidro. Através desses elementos transparentes ocorrem significativas trocas térmicas entre a edificação e o meio externo. Logo é necessário a utilização de vidros adequados ao clima e à orientação da edificação. No Brasil o uso correto de áreas de janelas, vidros e dispositivos de sombreamento, representam um grande potencial de economia de energia para sistema de resfriamento (LEÃO et al., 2008).

Para a determinação do comportamento térmico de edificações, com o intuito de avaliar seu desempenho térmico, é de extrema importância que se identifique as condições climáticas às quais a edificação está exposta, como a temperatura do ar, velocidade dos ventos, radiação solar incidente, nebulosidade, umidade, entre outras. Tendo isso em vista, para o projeto de edificações é imprescindível a consideração da forma, orientação e componentes construtivos (paredes, aberturas e cobertura), já que esses têm relação direta com as cargas térmicas que a edificação irá receber (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Nesse contexto insere-se o presente trabalho, que procura avaliar a influência de elementos construtivos de aberturas verticais externas comumente utilizados no Brasil, no consumo de energia elétrica de edificações comerciais da Zona Bioclimática 2, de forma a identificar que configurações desses elementos levam a um menor consumo de energia, tanto para climatização quanto para iluminação artificial.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é analisar o desempenho de sistemas de iluminação lateral no consumo de energia elétrica para climatização e iluminação artificial de edificações comerciais na Zona Bioclimática 2.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a influência de proteções solares horizontais e verticais e tipologias de vidros no consumo de energia elétrica considerando o sistema de iluminação artificial.
- Analisar a influência de proteções solares horizontais e verticais e tipologias de vidros no consumo de energia elétrica considerando o sistema de condicionamento artificial.
- Analisar a influência de proteções solares horizontais e verticais e tipologias de vidros no consumo de energia elétrica considerando o sistema de iluminação e condicionamento artificial.

- Auxiliar na escolha de situações adequadas de acordo com as tipologias de vidros e proteções solares analisadas.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Com a finalidade de atender aos objetivos propostos, o trabalho foi estruturado em cinco capítulos, dispostos na forma descrita a seguir.

No capítulo 1 – Introdução é apresentada a contextualização, a justificativa do tema da pesquisa, a proposição dos objetivos e o modo como será estruturada a dissertação.

No capítulo 2 – Revisão da Literatura é exposto o conteúdo relativo ao referencial bibliográfico das estratégias a serem analisadas nas simulações, como iluminação natural, iluminação artificial, condicionamento de ar e proteções solares.

O capítulo 3 – Metodologia contém os métodos e procedimentos para obtenção dos dados utilizados na simulação, detalhando a metodologia necessária para a realização deste estudo.

O capítulo 4 – Apresenta os resultados da pesquisa.

O capítulo 5 – Apresenta as conclusões mais relevantes da pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são tratados assuntos a partir de uma revisão sobre os fatores que influenciam a eficiência energética de edificações, tal como suas características que interferem no consumo energético.

2.1 LUZ NATURAL E ARTIFICIAL

A iluminação natural contribui para a redução de gastos com energia elétrica, além de cumprir funções primordiais como bem-estar psicológico. Diversos autores realizaram pesquisas quantificando a influência da luz natural no consumo de energia e eficiência energética de edifícios e sua integração com a iluminação artificial. O uso da iluminação natural pode reduzir o consumo de energia elétrica quando combinada com sistemas eficientes de iluminação artificial (FRANZETTI; FRAISSE; ACHARD, 2004; LI, 2010; FASI; BUDAIWI, 2015; SOUZA, 2003).

Para que a integração entre a luz natural e a artificial seja eficiente, são necessários conhecimentos acerca do clima da região onde está implantado o projeto, dos métodos de previsão de quantidade de luz disponível, dos conhecimentos dos fatores arquitetônicos adequados para diferentes propósitos de aproveitamento da iluminação natural, como átrios, aberturas verticais e horizontais, proteções solares, tipos de vidros, dentre outros fatores (POGERE, 2001).

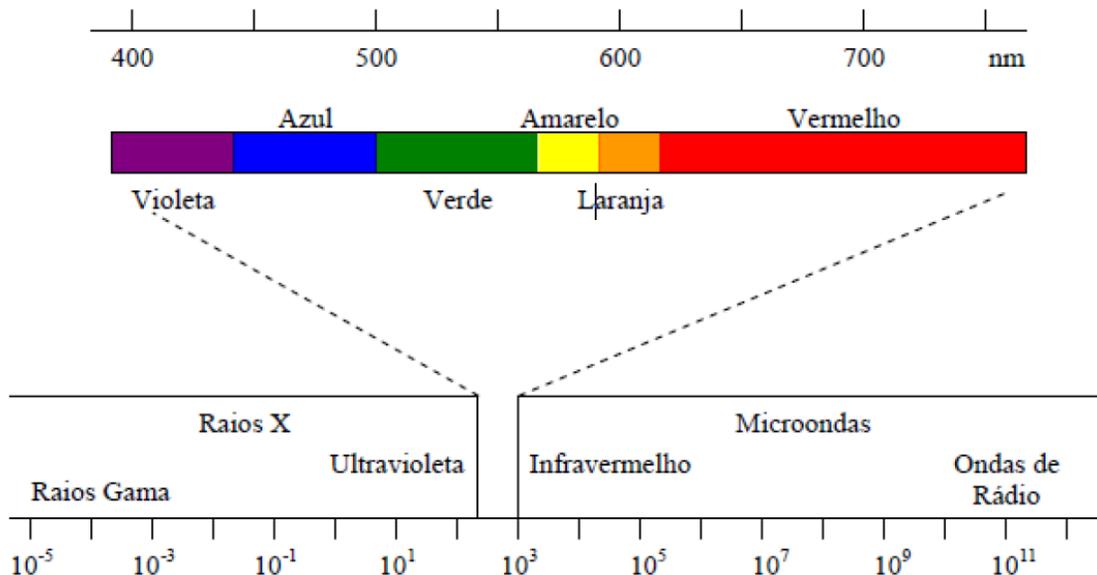
Para que a redução do consumo seja otimizada é indispensável que a integração dos sistemas natural e artificial tenha sido levada em consideração desde a fase de projeto, (GHISI; TINKER; IBRAHIM, 2005). Cabe ao projetista este dimensionamento bem como o conhecimento do funcionamento de cada componente da iluminação artificial e os dispositivos utilizados para iluminação natural, realizando-se assim a integração de ambos. Dessa forma, toda vez que a luz natural for suficiente para suprir as necessidades do ambiente a iluminação artificial não precisa ser acionada. Alguns sistemas de controle independentes do usuário podem ser usados para garantir que a iluminação artificial apenas seja acionada quando a natural não for suficiente.

Vianna e Gonçalves (2001) afirmam que para se obter um projeto de iluminação eficiente, é importante compreender a maneira que a integração entre iluminação natural

e artificial ocorre, bem como a atividade que será exercida no ambiente, especificando os requisitos exigidos pela iluminação artificial.

A luz é uma pequena porção do espectro eletromagnético percebido pelo olho humano e se situa na faixa de 380 nm a 780 nm (PEREIRA; SOUZA, 2005). Além de perceber a radiação dentro desta faixa, o ser humano também é capaz de discriminar diferentes comprimentos de onda que produzem sensação de cores. A Figura 1 representa os intervalos de comprimentos de onda que corresponde às cores básicas percebidas pelo órgão da visão.

Figura 1 - Espectro eletromagnético (comprimento de onda em nanômetros)



Fonte: (PEREIRA; SOUZA, 2005).

Segundo Toledo (2008), a iluminação natural é a luz que provém do sol, sendo esta uma fonte luminosa de espectro completo e, portanto, é usada como referência na comparação com as fontes artificiais de iluminação. É, também, considerada a melhor fonte de luz para reprodução fiel de cores. Conforme Mascaró (1983 apud CABÚS, 1997), a luz natural pode ser classificada como direta, através da incidência direta de raios solares, ou indireta, por meio da forma difusa por conta da refração e reflexão dos raios

na atmosfera, com ou sem presença de nuvens, ou de forma refletida através de edifícios, vegetação e objetos do entorno.

Já a iluminação artificial é toda fonte de luz produzida pelo homem para suprir a necessidade de iluminação quando a luz natural não é fonte suficiente. As lâmpadas são componentes do sistema de iluminação artificial e convertem energia elétrica em luz visível. Para que esta luz possa ser reproduzida e distribuída de forma adequada é necessária a utilização de reatores (de acordo com a lâmpada utilizada) e de luminárias, que são os componentes auxiliares do sistema de iluminação artificial (GHISI, 1997).

A luz solar direta ilumina uma superfície normal de 60.000 a 100.000 lux, sendo este valor muito elevado para ser utilizado diretamente sobre o plano de trabalho (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Além de questões ligadas ao conforto visual, a luz natural agrega também, carga térmica às edificações. O conhecimento dessas características pode levar projetistas a minimizarem o uso de luz natural nos edifícios. Todavia, a utilização excessiva de sistemas de iluminação artificial em edificações é responsável por grande parte do consumo de energia elétrica das mesmas (DIDONÉ; PEREIRA, 2010). A utilização de medidas simples, como uso de luz e ventilação naturais, pode reduzir o consumo energético desses edifícios. A integração adequada entre luz natural e artificial, pode representar economia de energia com sistemas artificiais de iluminação que, além de demandarem mais energia para seu funcionamento, acrescentam carga térmica à edificação, gerando maior consumo energético com sistemas de condicionamento artificial do ar.

A utilização da luz natural é justificada simplesmente por sua disponibilidade ao longo do dia. Principalmente no caso de edificações comerciais, que funcionam nesse período, a inserção de luz natural pode tornar o ambiente mais eficiente, além de contribuir para melhores condições de conforto visual dos ocupantes. A luz natural pode penetrar ambientes internos através de aberturas, proporcionando sensação de maior amplitude e permitindo uma dinâmica que não é encontrada em outros tipos de iluminação.

Hoje em dia são conhecidos os inúmeros benefícios da utilização da iluminação natural, “a iluminação adequada aumenta a produtividade e gera um ambiente mais prazeroso”, a inadequada iluminação de determinado ambiente pode resultar em

desconforto e fadiga visual, dor de cabeça, ofuscamento e redução da eficiência visual (PEREIRA; SOUZA, 2005). Li (2010) afirma que a luz natural é uma estratégia de grande relevância para a obtenção de edificações energeticamente eficientes. Além do aspecto de redução do consumo energético por iluminação artificial, usar a luz natural como fonte de iluminação para ambientes internos proporciona melhores condições de conforto visual, criando um ambiente mais atrativo para ocupantes, resultando em impactos positivos no desempenho de suas atividades.

Entretanto, essa estratégia nem sempre é devidamente utilizada nas edificações. A luz natural, apesar de variável ao longo do ano e até mesmo dos minutos deve ser estudada de forma a se elaborar projetos luminotécnicos nos quais a iluminação natural seja utilizada sempre que possível e a artificial somente quando a natural não suprir as necessidades de iluminação (GHISI; TINKER; IBRAHIM, 2005).

Para que a redução do consumo seja otimizada é indispensável que a integração dos sistemas natural e artificial tenha sido levada em consideração desde a fase de projeto, (GHISI; TINKER; IBRAHIM, 2005). Cabe ao projetista este dimensionamento bem como o conhecimento do funcionamento de cada componente da iluminação artificial e os dispositivos utilizados para iluminação natural, realizando-se assim a integração de ambos. Dessa forma, toda vez que a luz natural for suficiente para suprir as necessidades do ambiente a iluminação artificial não precisa ser acionada. Alguns sistemas de controle independentes do usuário podem ser usados para garantir que a iluminação artificial apenas seja acionada quando a natural não for suficiente.

Diversas grandezas e unidades são relacionadas à luz natural e artificial e seu conhecimento e aplicação são imprescindíveis para melhor entender os conceitos de iluminação. Dentre eles destacam-se: intensidade luminosa, fluxo luminoso, iluminância, luminância, índice de reprodução de cor (IRC), temperatura de cor correlata e as condições de céu.

A intensidade luminosa (I) é definida como a luz que se propaga em uma determinada direção, dentro de um ângulo sólido e sua unidade de medida no Sistema Internacional (SI) é o lumen/esterradiano ou candela (cd) (PEREIRA; SOUZA, 2005).

O fluxo luminoso (ϕ) representa uma potência luminosa emitida por uma fonte luminosa, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz. Sua unidade é o lúmen (lm) (PROCEL, 2011).

A iluminância (E) é a medida da quantidade de luz emitida por uma fonte de luz, incidente sobre uma superfície, por unidade de área. A unidade dessa grandeza é lm/m^2 ou lux (lx) (PEREIRA; SOUZA, 2005). Os níveis de iluminância de um ambiente dependem da área a ser iluminada e da quantidade de lumens emitidos pela fonte luminosa (NETO, 1980).

A luminância (L) é definida como a intensidade luminosa por unidade de área aparente de uma superfície numa dada direção e sua unidade, no SI, é cd/m^2 (PEREIRA; SOUZA, 2005). De acordo com os autores, a iluminância pode ser considerada como a medida física do brilho de algum objeto que transmite a sensação de claridade aos olhos, fazendo com que seja possível os seres humanos enxergarem. De acordo com Costa (2006), a luminância se relaciona ao contraste, por exemplo “a leitura de uma página escrita em letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo branco (papel, refletância 85%) revela que a luminância das letras é menor do que a luminância do fundo”.

O índice de reprodução da cor (IRC) é um apontador utilizado para medir a fidelidade entre a cor de um objeto quando colocado sob uma fonte luminosa e uma fonte de referência, podendo ter seu valor variado entre 0 e 100%. Quanto mais próximo de 100% for o IRC de uma fonte de luz artificial, maior será sua correspondência com as cores reais, tal qual o sol (TOLEDO, 2008).

A temperatura de cor correlata é um parâmetro que associa a cor da luz a uma temperatura de corpo negro que emite um comprimento de onda equivalente à aparência de luz da fonte, ao estar a uma determinada temperatura. Essa temperatura é chamada de temperatura de cor correlata (SZOKOLAY, 1980) e é medida na escala de graus Kelvin (K). A tonalidade da luz produzida por uma fonte pode ser percebida de forma mais branca ou amarelada, da mesma forma que ocorre com a luz do sol (TOLEDO, 2008). Quanto mais branca for a cor da luz, mais alta será sua temperatura de cor, por isso, a luz quente tem temperatura de cor baixa (3000 K ou menos) e cor amarelada, enquanto a luz fria possui temperatura elevada (6000 K ou mais) e cor azul-violeta.

A NBR 15575 define a condição de céu como “a aparência da abóboda celeste quando vista por um observador situado na superfície terrestre, que está relacionada à distribuição espacial da sua emissão de luz” (ABNT, 2005b). Em razão da mudança constante das condições de céu e da grande quantidade de modelos para caracterizar essas diferentes condições, a CIE (*Commision Interntionale de l’Eclairage*) adota dois modelos de céu, o céu claro e o encoberto (KREMER, 2002 apud ROBBINS, 1986).

No Brasil, as condições de céu são caracterizadas por meio do método preconizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EUA) e são classificadas em três tipos. O primeiro é o céu claro, com porcentagem de nuvens no céu entre 0 e 35%, esse tipo de céu apresenta coloração azul, pois as reduzidas partículas de água fazem com que apenas baixos comprimentos de onda (parte azul do espectro eletromagnético) consigam atingir a superfície terrestre. Já o céu encoberto caracteriza-se por apresentar nuvens preenchendo toda a sua superfície, ele apresenta uma coloração acinzentada devido à reflexão e refração de todos os comprimentos de onda do espectro, em todas as direções, da luz direta do sol, em grandes partículas de água que se encontram em suspensão na atmosfera. Por fim, o céu parcialmente encoberto, é uma condição intermediária entre o céu claro e o céu encoberto, no qual a luminância de um elemento é definida pelo posicionamento do sol no céu (ABNT, 2005).

2.2 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO E DO ENTORNO QUE INFLUENCIAM A LUZ NATURAL

De acordo com Laranja, Gazzaneo e Cabús (2009) para que ocorra de fato a inclusão da iluminação natural nos ambientes internos das edificações, é necessário primeiramente que a iluminação natural seja integrada no planejamento das cidades, conectando o planejamento urbano ao projeto de edificações. Diversas pesquisas demonstram que a disponibilidade da luz natural no ambiente interno depende de variáveis internas e externas à edificação.

São variáveis do ambiente interno a profundidade, pé-direito, características das superfícies refletoras internas, além das características das aberturas, como orientação solar, forma e tamanho e as propriedades óticas dos vidros (CAPELUTO, 2003). Quanto aos fatores externos existem os obstáculos externos, como edificações vizinhas e

árvores. De acordo com Oral et al. (2004), as variáveis que se relacionam com a luz natural no ambiente interno podem ser classificadas em dois grupos:

- ambiente externo, como a radiação solar e a condição de iluminação externa.
- ambiente edificado, como variáveis do entorno da edificação, do ambiente e dos elementos do edifício.

Quanto ao entorno, as variáveis que influenciam a iluminação natural são a dimensão e orientação dos obstáculos externos (edifícios e topografia), a radiação solar e as características de reflexão das superfícies externas (LARANJA; GAZZANEO; CABÚS, 2009). Já em relação ao edifício em si, as variáveis são a orientação, formato da construção e sua posição em relação às outras edificações. E por fim, quanto ao ambiente interno, as variáveis são a posição e orientação do ambiente interno na edificação, as dimensões do ambiente interno, formato e características de reflexão das superfícies internas (LARANJA; GAZZANEO; CABÚS, 2009).

Unver (2008) afirma que as variáveis que interferem na disponibilidade de luz natural no interior da edificação são as características do nível de iluminação do ambiente externo, sendo estas as características do céu. No que diz respeito às obstruções o autor cita a localização, dimensões e características das superfícies. Já no ambiente interno têm-se: orientação e dimensões do ambiente interno e características das superfícies refletoras. Em relação às aberturas observam-se sua orientação, dimensão e características do vidro quanto à passagem de luz.

Li et al. (2006) alegam como fatores que influenciam a disponibilidade de luz natural no ambiente interno as características das aberturas como sua localização e dimensões, incluindo também características do ambiente interno como formato, profundidade e características das superfícies refletoras internas. Já como fatores externos, os autores citam as alturas e afastamento entre as edificações, bem como as características das superfícies refletoras externas.

2.2.1 Entorno

As características da topografia urbana que definem o entorno da edificação são elementos de grande influência na disponibilidade de luz natural no ambiente interno. De acordo com Hopkison et al. (1975), os espaços intensamente urbanizados, por causa da

ocorrência de obstruções causadas por edificações dos arredores, precisam de maiores cuidados quanto ao planejamento da iluminação natural interna. O adensamento urbano e a verticalização das edificações são fatores que complicam o aproveitamento da iluminação natural na zona urbana, portanto devem ser bem observadas e regulamentadas nas normas de projeto e execução (LARANJA; GAZZANEO; CABÚS, 2009).

A quantidade de luz natural em um ambiente interno é dependente de características do seu entorno, dentre eles as obstruções e as características das superfícies refletoras (THERMIE ENERGY RESEARCH GROUP, 1994). Autores como Littlefair (1998; 2001), Capeluto (2003), Ratti, Bakerb e Steemersb (2004) e Laranja, Gazzaneo e Cabús (2009) corroboram que, entre as variáveis da geometria urbana que se associam com a disponibilidade de luz natural no meio interno estão as obstruções do entorno.

2.2.2 Formato do ambiente interno

A literatura tem confirmado as restrições na profundidade dos ambientes internos como maneira de assegurar a disponibilidade de luz natural. Segundo O'Connor et al. (1997, apud LARANJA; GAZZANEO; CABÚS, 2009) abordam a profundidade do ambiente em função da atuação da iluminação natural. Os autores limitam que aberturas laterais atenderão a profundidade do ambiente interno em no máximo 1,5 vezes a altura da janela. Segundo Iwashita (1999), áreas internas menores das edificações resultam em menores profundidades dos ambientes, ocasionando um melhor aproveitamento da luz natural, como por exemplo edificações mais estreitas, com iluminação lateral.

Reinhart (2005) pondera que existe a possibilidade de utilização da iluminação natural em ambientes cuja profundidade esteja entre 1 a 2 vezes a altura da janela. O autor cita que a iluminação varia de acordo com o tipo de vidro empregado, além do valor de iluminância determinado para o ambiente, que são fatores influenciadores da profundidade máxima que o ambiente pode vir a ter.

Alguns autores delimitam a profundidade dos compartimentos de acordo com limites determinados dentro do ambiente, definindo essas áreas como passíveis ou não de

aproveitamento de luz natural. Ratti et al. (2005) abordam conceitos de “zonas passivas” e “zonas não-passivas”. Zonas passivas são compostas pelas áreas da edificação nas quais existe possibilidade de aproveitamento de luz natural, ou seja, partes da edificação que são localizadas no perímetro da edificação com profundidade de no máximo seis metros, ou até duas vezes a altura do pé-direito, as outras áreas são consideradas não-passivas.

A “Part L of the Building Regulations England and Wales” adota as chamadas “áreas de perímetro”, que, da mesma forma que a “zona passiva”, definem uma área da edificação na qual é possível a utilização de iluminação natural de forma adequada. Tais áreas também são localizadas a uma distância de até seis metros da abertura (MARSH, 2005).

2.2.3 Aberturas

Além de proporcionar vista para o exterior e entrada de ventilação natural, as aberturas têm a função de passagem de luz natural, seja ela direta do sol, difusa do céu, refletida pelo sol ou até mesmo pelo entorno construído. De acordo com Baker et al. (1993), as janelas são caracterizadas como aberturas de um edifício que, por meio da inter-relação entre os ambientes interno e externo, torna-se possível permitir a iluminação natural proveniente da lateral para o ambiente interno. Para Li et al. (2006), as janelas são aberturas cuja função é permitir a entrada da luz natural nos ambientes internos da edificação.

Entretanto, a iluminação que adentra no ambiente por uma abertura é caracterizada por sua não-uniformidade e variabilidade durante o dia. A luz natural, ao atravessar a envoltória da edificação por meio de uma abertura, sofre variação na sua quantidade, diminuindo o nível de intensidade da luz à medida que se afasta da abertura em direção ao interior da edificação (ROBBINS, 1986; BAKER et al., 1993). Baker et al. (1993) caracterizam as janelas de acordo com parâmetros de posição, orientação e tamanho da abertura, podendo ainda integrar elementos de controle.

Ou seja, o dimensionamento de uma abertura deve levar em consideração o seu tamanho e sua orientação solar, bem como as características dos dispositivos de proteção solar, internos ou externos à edificação.

2.2.4 Superfícies refletoras

As características das superfícies refletoras externas (superfícies verticais das edificações e do solo), bem como das superfícies refletoras internas ao ambiente (superfícies de pisos, tetos e paredes) são de grande importância na disponibilidade de iluminação natural em um ambiente interno. Lam (1986, apud LARANJA; GAZZANEO; CABÚS, 2009) afirma que o controle da reflexão é um dos fatores mais imprescindíveis quando se utiliza a luz natural como fonte de iluminação de ambientes internos. Tregenza (1995) reitera que a luz natural refletida nas superfícies das edificações externas, bem como no solo, é grande contribuinte na iluminação natural de um ambiente interno, no que diz respeito às reflexões externas. A luz natural refletida pode ser considerada como principal fonte de iluminação natural nos ambientes internos das edificações (LI et al., 2006).

A contribuição da luz refletida para a iluminação natural de ambientes internos é de extrema importância no dimensionamento de edificações, principalmente em clima tropical úmido. Os autores citam que deve ser dada atenção às refletâncias médias do entorno (ARAÚJO; CABÚS, 2007; ORAL et al., 2004).

2.3 AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL

Hoje em dia são conhecidos os inúmeros benefícios da utilização da iluminação natural, “a iluminação adequada aumenta a produtividade e gera um ambiente mais prazeroso”, a inadequada iluminação de determinado ambiente pode resultar em desconforto e fadiga visual, dor de cabeça, ofuscamento e redução da eficiência visual (PEREIRA; SOUZA, 2005).

Entretanto, essa estratégia nem sempre é devidamente utilizada nas edificações. A iluminação natural, apesar de variável ao longo do ano e até mesmo dos minutos deve ser estudada de forma a se elaborar projetos luminotécnicos nos quais a iluminação natural seja utilizada sempre que possível e a artificial somente quando a natural não suprir as necessidades de iluminação (GHISI; TINKER; IBRAHIM, 2005).

A utilização da iluminação natural é reconhecida como uma medida efetiva para reduzir a carga de iluminação artificial em edifícios não residenciais. Um novo esquema para avaliar o potencial de iluminação natural foi proposto por Nabil e Mardaljevic (2005) chamada de iluminâncias úteis (*Useful Daylight Illuminance* – UDI, em inglês). A métrica UDI é caracterizada pela utilização da modelagem baseada em arquivo *climate-based*, já que leva em conta as condições horárias de sol e céu, que são fundamentadas a partir de conjuntos de dados anuais (NABIL; MARDALJEVIC, 2005).

Como o próprio nome sugere, essa métrica visa determinar quando os níveis de luz do dia são “úteis” para o ocupante, ou seja, nem muito escuro (< 100 lx) nem muito claro (> 2000 lx). O limite superior destina-se a detectar horários em que ocorre um excesso de oferta de luz do dia, o que pode levar ao desconforto visual e/ou térmico. O intervalo sugerido baseia-se nas preferências relatadas dos ocupantes em escritórios com luz natural (NABIL; MARDALJEVIC, 2005). Com base nos limites superiores e inferiores de 2000 lx e 100 lx, o UDI resulta em três métricas: a porcentagem das horas ocupadas do ano em que o UDI foi atingido (100-2000 lx), ficou aquém (< 100 lx) ou foi excedido (> 2000 lx). O último limiar destina-se à investigação de possível aparição de brilho e geração de ofuscamento.

Outra métrica proposta é a autonomia de luz do dia (*Daylight autonomy* - DA). A DA vem sendo utilizada para a avaliação das predições de iluminância a partir de análises baseadas também no clima (REINHART, 2004). Essa métrica apareceu em 1989 em uma normativa da *International Association Suissedes Electriciens* (IASE) e foi redefinida por Reinhart e Walkenhorst em 2001. A DA usa a iluminação do plano de trabalho como um indicador da suficiência de luz do dia suficiente em um espaço para que o ocupante possa trabalhar somente com auxílio da iluminação natural. A DA expressa a porcentagem de horas ocupadas do ano em que um valor mínimo de iluminância no plano e trabalho, igual a 500 lux, por exemplo, é mantido apenas pela iluminação natural (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

O fator de luz do dia (*Daylight Factor* – DF) é definido como a razão entre a iluminação em um ponto de uma edificação e a iluminação horizontal externa sem sombra, sob um céu nublado da CIE (MOON; SPENCER, 1942). O conceito de uso de uma taxa de iluminância para quantificar a quantidade de luz do dia nas edificações existe

pelo menos desde 1909, quando Waldram publicou uma técnica de medição baseada nessa abordagem (WALDRAM, 1909). A princípio foram utilizados fatores de céu que quantificam a contribuição da luz direta da cúpula do céu para um ponto em um edifício. Posteriormente, o fator de céu evoluiu para o fator de luz do dia, à medida que a luz refletida por obstruções externas, perdas de luz através dos vidros e reflexões internas foram adicionadas (WALDRAM, 1950). Em 1949, o céu de referência mudou de uniforme para o que hoje é um céu nublado da CIE (MOON; SPENCER, 1942).

De acordo com Reinhart (2006), o fator de luz do dia não foi concebido para ser uma medida de bom desempenho da luz do dia, mas sim um requisito mínimo de iluminação legal. O DF varia para diferentes projetos de construção e, portanto, têm capacidade de influenciar as opções de projeto e dimensionamento. Fatores como geometria da construção, paisagem e edifícios do entorno, bem como as propriedades da superfície (cor, difusão, especularidade, refletância e transmitância) têm impacto no fator de luz do dia (REINHART, 2006).

A autonomia de luz contínua (*Continuous Daylight Autonomy – DA_{con}*) proposta por Rogers (2006) é outro conjunto de métricas resultantes de pesquisas em salas de aula. Em contrapartida às definições anteriores de autonomia de luz do dia, é atribuído um crédito parcial a intervalos de tempo quando a iluminação da luz do dia fica abaixo do nível mínimo de iluminação.

Por exemplo, no caso em que são necessários 500 lx e 400 lx são fornecidos em um determinado intervalo de tempo, é concedido um crédito parcial de 0,8 (400 lx/500 lx) para esse intervalo de tempo. O resultado é que, em vez de um limite rígido, a transição entre conformidade e não conformidade é suavizada. Essa mudança na métrica pode ser justificada por estudos de campo que indicam que as preferências de iluminação variam entre indivíduos (JENNINGS; RUBINSTEIN; DIBARTOLOMEO; BLANC 1999; REINHART; VOSS 2003) e que muitos ocupantes de escritórios tendem a trabalhar em níveis de luz do dia mais baixos do que os comumente encontrados (300 ou 500 lx) (LINDELOËF; MOREL 2006; REINHART; VOSS 2003). Essencialmente, a métrica reconhece que mesmo uma contribuição parcial da luz do dia para iluminar um espaço ainda é benéfica.

Uma segunda quantidade, máxima autonomia de luz do dia (DA_{max}), é relatada juntamente com o DA_{con} para indicar a porcentagem de horas ocupadas quando a luz solar direta ou condições de luz do dia extremamente alta estão presentes. O DA_{max} foi definido como um nível igual a dez vezes a iluminação do projeto de um espaço. Rogers (2006) exemplifica que para um laboratório de informática com uma iluminação de projeto de 150 lx, a DA_{max} corresponde a 1500 lx.

A exposição anual à luz (*Annual Light Exposure*) é um indicador de desempenho já estabelecido para projetar espaços que contêm obras de arte sensíveis à luz. É definida como a quantidade incidente de luz visível acumulada em um ponto de interesse ao longo de um ano (REINHART, 2006).

2.4 DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES

O conceito de desempenho térmico é descrito como resultado da interação “entre a edificação e o ambiente térmico a que ela está submetida” ou suas condições de exposição (AKUTSU; LOPES, 1988). Essas condições de exposição são classificadas em condições climáticas (temperatura e umidade do ar exterior, velocidade e direção dos ventos e radiação solar direta e difusa); em condições de implantação (latitude e longitude, orientação solar) e condições de uso da edificação (número de ocupantes e atividades desenvolvidas, quantidade de calor e vapor de água produzidos no interior do edifício, número de renovações de ar).

Akutsu e Lopes (1988) citam que outras características como: forma e dimensões geométricas da edificação, transmitância, absortância e refletância à radiação solar, emissividades das superfícies, condutibilidade térmica, calor específico e massa específica dos materiais, são grandezas que caracterizam o comportamento térmico da edificação, bem como seus componentes e materiais.

O desempenho térmico da edificação resulta do desempenho térmico de cada parte das vedações, o isolamento térmico resulta da média ponderada das resistências térmicas das superfícies que compõem o edifício: coberturas, paredes, pisos e aberturas. Vefago (2006) cita que “o desempenho térmico de uma vedação é função da transferência de calor entre os ambientes interno e externo”. Já Alucci et al. (1988)

argumentam que o mesmo sistema construtivo pode apresentar desempenho diferenciado em cada clima no qual é inserido.

Um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais internas utilizando menos energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Nos edifícios de escritório, a energia é usada na forma de eletricidade para utilização de equipamentos voltados à conforto, eficiência e desempenho de atividades de seus ocupantes. Esses equipamentos incluem sistemas de iluminação, operação de escritórios, sistemas de refrigeração, transporte, entre outros.

É importante ressaltar que cada componente da edificação é responsável por uma parcela da entrada de carga térmica, sendo a cobertura o sistema que representa a maior parte da transmissão de calor ao interior dela, já que esta é a mais exposta à radiação direta do sol. As fachadas não recebem tantas horas de sol, em virtude de sua orientação ao norte e plano vertical, entretanto também são grandes agentes desse desempenho. Esse desempenho pode ser melhorado ou piorado de acordo com os materiais utilizados em cada sistema construtivo, bem como de acordo com as espessuras e sua disposição.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a quantidade de calor que entra ou sai do ambiente varia de acordo com o tamanho da abertura. Assim, deve-se pensar de forma adequada o dimensionamento de aberturas, bem como sua posição. O uso de protetores solares é de extrema importância, já que podem ser usados como recursos de controle de ganhos térmicos.

2.5 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO

Os fatores que influenciam o desempenho térmico da edificação e a possibilidade do aproveitamento de luz natural, compreendem os aspectos que estão relacionados à configuração espacial da edificação e o uso de materiais, que determinam a arquitetura. A edificação contribui para o consumo de energia por meio das trocas térmicas que se dão entre os ambientes internos e externos: em climas quentes os ganhos térmicos são maiores e, juntamente com os ganhos internos de ocupação e de equipamentos de iluminação, produzem uma carga térmica que deve ser compensada pelos sistemas de refrigeração. As características da envoltória, podem aumentar ou diminuir os ganhos de

calor, tais características são: cores da envoltória, as propriedades térmicas dos materiais e componentes, como vidros, paredes e coberturas e, exposição ao ambiente externo, como ausência de sombreamento ou o contato de grandes superfícies do edifício com o exterior (CARLO, 2008).

Quanto ao desempenho térmico e a iluminação natural de ambientes internos, a tomada de decisões apropriadas durante as fases de projeto possibilita um grande potencial de economia de energia elétrica, seja para resfriamento ou para aquecimento, como para a iluminação artificial, por meio do uso da luz natural. De acordo com Aroztegui (1993), as primeiras decisões projetuais da concepção arquitetônica, tais como forma, orientação, distribuição espaço/funcional, transparências, entre outras, são decisivas para a qualidade térmica do interior das edificações.

A localização deve ser considerada como uma condicionante nas decisões de projeto que busquem promover o alto desempenho térmico da edificação, principalmente no que se refere ao clima. Westphal (2007) expõe que as principais fontes de calor relacionadas à ocupação e ao funcionamento da edificação são: o calor produzido por pessoas, o sistema de iluminação e os equipamentos. As outras são diretamente ligadas aos fatores climáticos locais, como: condução de calor por paredes, cobertura, piso e janelas, o ganho de radiação solar pelas aberturas e a infiltração de ar externo.

Nas simulações computacionais de desempenho energético de edificações, os dados de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade e direção dos ventos, são inseridos através de arquivos climáticos, que caracterizam as condições climatológicas de um ano tomado como base. Esses arquivos são elaborados a partir de informações registradas em estações meteorológicas.

2.5.1 Ocupação e cargas internas

Além dos ganhos de calor provenientes do meio externo, ligados às condições climáticas locais, o próprio uso da edificação resulta em ganhos térmicos internos. A densidade de carga interna corresponde aos ganhos de calor gerados pelas pessoas, pelos sistemas de iluminação e pelos equipamentos, ou seja, compondo o calor gerado pela ocupação e funcionamento do edifício. Ao exercer qualquer tipo de atividade, o metabolismo humano regula a temperatura interna por meio da liberação de calor

corporal, esse calor liberado é adicionado ao ar interno da edificação, aumentando a temperatura ambiente. Dessa maneira, o ganho térmico por pessoas depende de qual atividade é realizada e quantos usuários estão no ambiente. Já o ganho de calor por iluminação está relacionado à potência do sistema de iluminação artificial, ou seja, está em função de sua eficiência. O ganho térmico por equipamentos, por sua vez, está diretamente relacionado à ocupação, pois se considera a densidade de potência e equipamentos utilizados pelos usuários em suas atividades (UTZINGER; WASLEY, 1997).

A carga térmica gerada no interior da edificação contribui diretamente na demanda ao sistema de condicionamento de ar, que deve retirar o calor produzido. Isso significa que, maiores cargas térmicas acarretam maior consumo de energia para resfriamento e menor para aquecimento. Westphal (2007) realizou um estudo sobre o impacto dos parâmetros construtivos e funcionais de modelos de prédios de escritórios no consumo anual de ar condicionado. Os critérios de maior influência foram a densidade de carga interna, o padrão de uso e o coeficiente de performance do sistema de condicionamento de ar (COP). O autor concluiu que dependendo da carga térmica interna, do padrão de uso e da absorvância das superfícies externas, o aumento da transmitância térmica da envoltória pode promover tanto acréscimo quanto redução no consumo de energia da edificação. Isso ocorre pois em situações com menor carga térmica interna, o aumento na resistência térmica das fachadas intensifica o bloqueio da entrada de calor por meio da envoltória e diminui o efeito do clima externo no interior da edificação. Todavia, na situação contrária, ao diminuir a resistência das paredes, permite-se dissipação do calor interno para o exterior, reduzindo a carga de resfriamento.

Edifícios de escritório são característicos por apresentarem elevada geração de carga térmica interna, que coincide com o período do dia que apresenta as maiores temperaturas e maiores ganhos por radiação solar. Deste modo, ao se considerar os climas do Brasil, edifícios com essa função demandam mais energia para resfriamento e por um período maior do ano, se comparados a residências. Além do consumo de energia acarretado pelas cargas térmicas dos sistemas, a densidade de calor interno da edificação modifica as trocas térmicas com o ambiente externo e a influência de parâmetros dos componentes de fachada, como a transmitância térmica (U) e a

absortância dos elementos opacos. Brandalise (2015) concluiu que ao se elevar a densidade de carga interna, o fluxo de calor tende a inverter-se, ou seja, com baixa densidade de carga interna, o fluxo de calor tende a direcionar-se do exterior para o interior da edificação, entretanto, ao se aumentar o calor gerado internamente, o fluxo tende a fazer o caminho inverso, do interior para o exterior da edificação.

2.5.2 Orientação solar

Poirazis, Blomsterberg e Wall (2008) analisaram um edifício comercial com tipologia linear infinita, considerando condições climáticas nórdicas. Para esta tipologia de edificação, os resultados apresentaram que a orientação solar não impacta de forma significativa o consumo energético total da edificação, independentemente do tipo de planta. Já para ambientes de escritório compartimentados, com 30% de área de abertura total da fachada, a influência da orientação foi 0,9%.

Lee et al. (2013) realizaram simulações para edifícios de escritórios em diferentes climas da Ásia. Os autores concluíram que ao se considerar o consumo energético de cada uma das zonas térmicas voltadas para diferentes orientações solares, a diferença de consumo entre as zonas para cada fachada pode variar de 17% a 42%. Para as cidades de Taipé (Taiwan) e Xangai (China), que possuem condições climáticas semelhantes à algumas regiões do sul do Brasil, a diferença entre o consumo energético ficou entre 33% e 42%.

Andreis (2014) realizou um estudo sobre desempenho energético em edifícios de escritório no Brasil, avaliando a influência da orientação do eixo de fachadas com maior área no consumo energético anual para condicionamento térmico. Os autores analisaram as cidades de Curitiba, Porto Alegre, São Paulo, Brasília, Rio de Janeiro, Salvador e Recife. Em todas as cidades analisadas, os modelos com as fachadas mais amplas, orientadas na direção norte-sul, acarretaram menor demanda energética para condicionamento de ar. A economia de energia dessa orientação em relação a orientação leste-oeste foi de 1,4% e 6,3%, sendo as maiores diferenças nas cidades localizadas mais ao sul do país.

2.5.3 Envoltória

A absorvância térmica e a transmitância térmica são duas propriedades de elementos de fechamentos opacos externos que influenciam no desempenho térmico de edificações. A primeira está diretamente relacionada com a atuação da incidência de radiação solar. A absorvância térmica tem relação com a cor do acabamento e indica qual o percentual total de energia da radiação solar incidente será absorvida na forma de calor pelo elemento construtivo. Já a transmitância térmica refere-se à quantidade de calor transmitida através do material. Essa característica varia de acordo com a condutividade térmica e espessura da composição, além do sentido do fluxo de calor. Já em fechamentos transparentes, além da transmitância térmica, o fator solar (FS) do sistema de vidros também tem significativa influência no desempenho térmico da edificação.

Alguns autores afirmam que a cobertura é o componente da envoltória que mais contribui para o ganho de calor solar da edificação, já que nele a radiação incide diretamente. O impacto da cobertura dependerá da tipologia arquitetônica. As alterações dos materiais da fachada resultam em redução de até 4,95% no consumo energético para condicionamento de ar, enquanto as alterações na composição de materiais da cobertura geram redução em até 0,87%, segundo um estudo realizado por Carvalho, La Rovere e Gonçalves (2010), por meio de simulações de condicionamento de ar em edificações de escritórios, no Rio de Janeiro.

Os ganhos térmicos por radiação solar ocorrem através da envoltória da edificação e podem ser por transmissão direta através dos elementos transparentes ou por absorção e transmissão através dos materiais opacos e, em menor intensidade, através dos materiais transparentes. O calor solar advindo das trocas do ambiente externo com o interno tem impacto sobre o sistema de condicionamento de ar, que deve suprir a retirada dessa carga gerada.

Os elementos transparentes requerem atenção especial, pois são responsáveis pelo elevado ganho de calor solar. Essa propriedade permite trocas de calor mais diretas e intensas do que as que ocorrem com os fechamentos opacos. A seguir, as trocas realizadas por esses dois tipos de fechamentos são detalhadas.

2.5.3.1 *Comportamento térmico de componentes construtivos*

Países localizados em regiões tropicais estão submetidos à intensa e abundante radiação solar, que influencia diretamente na carga térmica dos edifícios. As trocas de energia entre o exterior e o interior das edificações ocorrem através da envoltória construtiva das construções. No estudo da envoltória da edificação, é necessário levar em conta todos os fatores que interferem nessas trocas. Um desses fatores é a radiação solar, diante da qual cada fechamento se comporta de determinada maneira. Os fechamentos podem ser classificados em opacos e transparentes, tendo como principal diferença, a capacidade de transmitir ou não radiação solar para o ambiente interno.

2.5.3.1.1 Fechamentos opacos

Os fechamentos opacos são componentes verticais que possuem a finalidade de barrar e separar fluxos entre ambientes. A transmissão de calor nesses fechamentos ocorre quando há diferença de temperatura entre as superfícies internas e externas e, o sentido do fluxo de calor é sempre da superfície mais quente para a mais fria (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

De acordo com Krüger (1999), a quantidade de radiação transmitida de forma direta para o interior do ambiente atua nas condições de conforto térmico de forma instantânea, caracterizando-se, assim, como a principal parcela dos ganhos térmicos em espaços. Dessa maneira, cabe aos profissionais da arquitetura e engenharia civil o correto tratamento dessa radiação e a especificação de materiais adequados a serem empregados como fechamentos opacos e transparentes, bem como a apropriada proporção de área entre eles.

Para uma parede opaca que está exposta à radiação solar, submetida a uma diferença de temperatura entre os meios interno e externo, os mecanismos de trocas térmicas podem ser exemplificados conforme a Figura 2 abaixo. Dessa forma, parte do calor que incide no fechamento opaco é refletido de acordo com a refletância (ρ) da superfície externa e, o restante é absorvido em função da absorvidade (α). Em corpos opacos, a soma desses dois fatores, refletância e absorvidade, é igual a 1.

Figura 2 - Troca de calor através de vedações opacas



Fonte: (adaptado de LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Refletância à radiação solar pode ser definida como a parcela de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Logo, é a quantidade de radiação que é refletida do total de radiação incidente em determinada superfície. Já a absortância solar é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela parcela de radiação solar incidente sobre a mesma superfície (ABNT, 2003a).

Por meio do estudo da absortância solar pode-se concluir que os materiais de construção estão sujeitos à ação de onda curta (radiação solar) e que a sua cor superficial é a principal determinante desse fator, ou seja, um material escuro absorverá a maior parte da radiação incidente, já um material de cor clara absorverá muito pouco. Essa parcela de radiação absorvida irá aumentar a temperatura do material e parte dela será reemitida para fora e outra parte emitida para o ambiente interno. A radiação solar na edificação tem influência direta no ganho de calor e, por consequência, nas temperaturas internas. O fluxo de calor que atravessa o fechamento é dado pela Equação 1, que segue (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

$$q = U (\alpha I R_{se} + t_e - t_i).S \quad (1)$$

Onde:

q – Fluxo total de calor através do fechamento (W);

- α – Absortância da superfície externa do fechamento;
 I – Intensidade da radiação solar (W/m^2);
 R_{se} – Resistência superficial externa ($m^2 K/W$); e
 S – Área do fechamento.

A transmitância térmica ou coeficiente global de transferência de calor, pode ser definida como o inverso da resistência térmica total. A resistência térmica total é o somatório das resistências térmicas correspondentes a cada camada de um elemento, incluindo as resistências superficiais interna e externa. A resistência superficial externa é tomada como a resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um elemento que transfere calor por radiação e/ou convecção. O mesmo se aplica à resistência superficial interna, porém considerando a superfície interna do elemento (ABNT, 2003).

Os valores das resistências internas e externas podem ser obtidos pela Tabela 1 a seguir, conforme a NBR 15220, parte 2 (ABNT, 2003b).

Tabela 1 - Resistência térmica superficial

Rsi [m².K/W]			Rse [m².K/W]		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: (adaptado de ABNT, 2003b).

A resistência térmica de fechamentos é um fator imprescindível, porém não define a eficiência desses dispositivos. A resistência deve ser avaliada juntamente com a capacidade de amortecimento e com o retardo térmico, fenômenos associados à inércia e capacidade térmica (RIVERO, 1986). Retardo térmico é tido como o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação a superfície oposta de um elemento, submetido a um regime de transmissão de calor, ou seja, é o tempo que leva para que o fluxo de calor atravesse o material construtivo (ABNT, 2003a).

Os fechamentos trocam calor em suas duas faces, de acordo com a maior temperatura destas. Ao conduzir calor de um meio para outro, o material retém uma

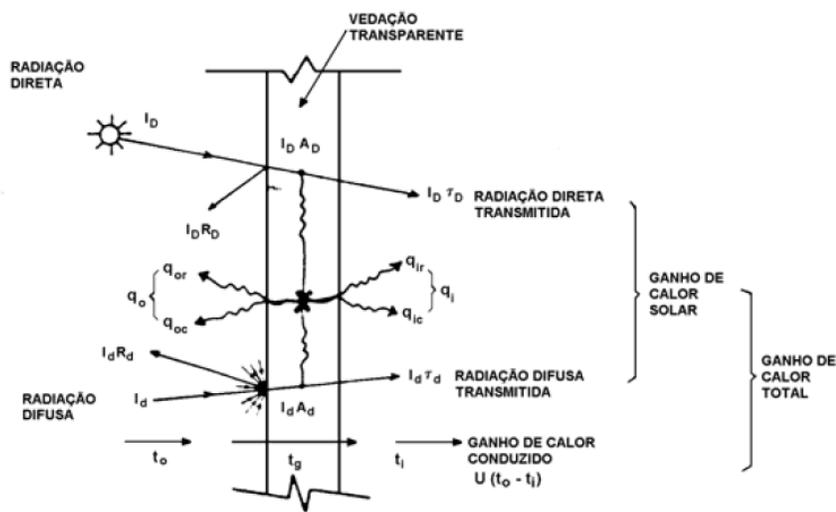
parcela em seu interior, devido a sua massa térmica, ocasionando em uma diminuição da temperatura do ar interno. Dessa maneira, pode-se utilizar a massa térmica dos fechamentos para acumular calor durante o dia (do ar e do sol), retê-lo e, posteriormente, devolvê-lo ao ambiente, caracterizando uma boa estratégia para climas frios, por exemplo (RIVERO, 1986).

2.5.3.1.2 Fechamentos transparentes

Os fechamentos transparentes são constituídos em sua maioria por vidros. Os vidros são materiais transparentes às radiações e permitem a iluminação natural dos ambientes internos. Entretanto, esses materiais podem causar desde problemas térmicos até mesmo econômicos, a especificação correta deve levar em conta as normas técnicas, mas também está vinculada ao conhecimento a respeito do comportamento dos fechamentos transparentes diante da radiação solar (ZÓFOLI, 2011).

As trocas térmicas nesses fechamentos são ilustradas na Figura 3. Essas trocas envolvem os fenômenos de condução de forma semelhante ao dos fechamentos opacos e, ainda, as trocas por radiação, que constitui o principal fator de entrada de calor, já que esta é diretamente transmitida para o interior e depende da transmitância do vidro (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 3 - Trocas térmicas em fechamentos transparente



Fonte: (MALHEIROS, 2005).

Os parâmetros principais que devem ser levados em conta na especificação de um fechamento transparente são: o Fator de Calor Solar (FS), a Transmissão de Luz Visível (TV) e a Transmitância Térmica (U) (MALHEIROS, 2005). O FS pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que passa através da janela pelo que nela incide. Esse valor depende do tipo de abertura e varia de acordo com o ângulo de incidência da radiação solar (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A NBR 15220, parte 1 (ABNT, 2003a) define o fator de calor solar para elementos translúcidos como o quociente da taxa de radiação solar que é transmitida diretamente através de um componente transparente, somada à parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, devido a taxa de radiação solar total incidente sobre a superfície externa dela.

O índice de seletividade do vidro (IS) também deve ser levado em consideração na escolha do seu tipo. Esse índice pode ser definido como a razão entre a Transmissão de Luz Visível e o Fator de Calor Solar, ou seja, esse índice define a capacidade do vidro de transmitir luz e impedir a radiação, assim, quanto maior o valor de IS, mais luz é admitida no ambiente, com menos entrada de calor (GUARDIAN, 2012).

A fração reirradiada tem grande importância por causa do controle do ganho de calor através dos vidros. O ganho de calor depende da transmissão de radiação e da absorção através destes materiais, já que quando a energia absorvida se transforma em calor, a temperatura do vidro aumenta e, assim, ocorre um aumento da transmissão por convecção e radiação em direção aos meios externo e interno (CASTRO, 2006).

O uso de elementos transparentes é recorrente em fachadas e em coberturas, uma vez que o contato com o exterior e a luz natural são desejados pelos usuários em boa parte do dia, para a realização das atividades em ambientes internos. No entanto, em determinados momentos a transparência pode causar superaquecimento em períodos de calor elevado ou resfriamento elevado em períodos mais frios (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O vidro não é um bom condutor de calor, ou seja, se uma das superfícies de uma janela se aquece, a face deste lado também esquenta, entretanto, o calor demora um certo tempo até passar pela espessura do material e aquecer a outra face, já que o vidro oferece resistência à essa passagem (AKERMAN, 2000).

Existem inúmeros fechamentos transparentes disponíveis no mercado e podem ser classificados de acordo com seu tipo, entre eles podem ser citados os vidros simples (transparente), o vidro verde, as películas e vidros absorventes (fumê), as películas e vidros reflexivos, os vidros serigrafados, os policarbonatos, os vidros espectralmente seletivos (de baixa emissividade e com controle solar), vidros insulados e as aberturas com múltiplas camadas de vidro (duplo e triplos). O vidro simples permite que a maior parcela de calor que entre na abertura seja a partir da incidência direta, que depende da alta transmitância deste tipo de vidro. Contudo, a utilização de vidros com menor valor de transmitância, geralmente bloqueia a entrada de boa parte da luz solar, deixando o ambiente interior mais escuro (GARROCHO, 2005).

O vidro verde é levemente pigmentado de forma a diminuir a transmissão da onda curta com pequeno aumento na absorção da parte visível, também conhecido como absorvente. As películas e vidros absorventes têm como objetivo diminuir a transmissão da onda curta, entretanto isso acaba aumentando a absorção desse comprimento de onda, diminuindo a visibilidade. Já as películas e vidros reflexivos são compostos por uma camada metálica, tendo aparência de espelho. As películas reflexivas à onda curta reduzem o ingresso de calor ao ambiente interno e, as películas reflexivas à onda longa reduzem as perdas de calor ao exterior. Os vidros serigrafados possuem sua transparência alterada por desenhos ou cores transferidos à sua superfície (GARROCHO, 2005).

Os vidros espectralmente seletivos podem permitir o ingresso da luz natural no ambiente interno, ao mesmo tempo que impedem a maior parte dos ganhos de calor solar no verão ou previnem a perda de calor no inverno. Exemplos desse tipo de vidro são os de baixa emissividade (*low-e*) e os seletivos com controle solar (GUARDIAN, 2012). Os vidros insulados consistem em dois ou mais panos de vidro que delimitam uma câmara que pode ser preenchida com ar ou outro gás. Sua função é o isolamento térmico, geralmente de forma a evitar a perda de calor nos períodos frios (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Os vidros de controle solar ainda podem ser classificados em três séries: *SuperNeutral*, *High Performance* e *Solar*. A primeira série possui alta transmissão de luz minimizando o ganho de calor solar, com vidro de aparência neutra, similar ao incolor

padrão. A série *High Performance* combina a transmissão de luz visível de media a alta com menor ganho solar. E, a série *Solar*, é especializada em bloquear o calor, com uma aparência altamente reflexiva (GUARDIAN, 2018).

A classificação dos vidros pode ser feita de acordo com sua tipologia, sendo dividida em vidros simples, aqueles de emprego mais comum no Brasil, sendo altamente transparentes a ondas curtas e absorventes a ondas longas, ou seja, boa visibilidade, porem alta transmissividade do calor solar para o interior. O vidro verde também conhecido como absorvente é levemente pigmentado de forma a reduzir a transmissão da onda curta. Já as películas e vidros absorventes (fumês) têm o intuito de diminuir a transmissão da onda curta, entretanto, isto gera diminuição da transmissividade visível.

Em relação as películas e vidros reflexivos, pode-se dizer que por possuir uma camada metálica produzindo a aparência de espelho esses materiais reduzem o ingresso de calor para o interior, mas também reduzem a capacidade de transmitir a radiação visível. Entre outras tipologias pode-se citar os policarbonatos, os vidros espectralmente seletivos, que permitem a entrada de luz solar e bloqueiam a maior parte dos ganhos de calor solar. Têm-se também, os vidros de baixa emissividade (*low-e*), os de cristal líquido, policrômicos ou fotocrômicos, entre outros.

Assim, deve-se considerar a utilização correta de aberturas e seus FS, para que a entrada de calor no interior seja controlada. Outro fator a se levar em conta é a admissão da iluminação natural, já que esta pode ser reduzida na mesma proporção da redução da entrada de calor. Portanto, é importante, ao se analisar os vidros quanto ao controle de radiação solar, se este controle não está reduzindo a admissão de luz natural. Isso também vale para outros elementos de controle, como as proteções solares, assunto do próximo item.

2.6 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO

O desempenho térmico de edificações pode ser analisado de diversos modos, cada um possui vantagens e limitações que devem ser consideradas de acordo com a localidade e situação. Nas seções abaixo são apresentados os conceitos utilizados por pesquisadores para a análise de desempenho térmico de edificações.

2.6.1 Distribuição de temperatura

A distribuição das temperaturas máximas, mínimas e médias é um dos modos de análise geralmente adotada nas pesquisas. Papst (1999) afirma que este método é importante para avaliar o comportamento da edificação no âmbito das entradas de frentes frias, radiação solar e variação da temperatura externo. O autor cita dois métodos de análise: média mensal horária e média horária diária.

Papst (1999) analisou quatro edificações, mas somente três foram submetidas ao mesmo período de monitoramento das temperaturas e, por esse motivo, são comparadas entre si. As residências possuíam variações na arquitetura, características construtivas, ocupação e localidade. A análise foi feita com base na média horária mensal e média horária diária de três meses do ano em cada residência. A partir da distribuição da temperatura de bulbo seco, compararam-se os valores externos com os internos de cada ambiente das residências, constatando assim, quais os ambientes mais sujeitos a trocas térmicas com o exterior. Os diferentes comportamentos entre os ambientes ocorriam por causa da abertura das janelas, presença de cobertura, maior contato com a parede externa, orientação, entre outros fatores. A autora afirma que este método permite conclusões principalmente sobre o comportamento dos materiais da envoltória, comportamento do usuário, sombreamento e orientação.

Marques (2008) analisou a variação de temperaturas e umidade relativa do ar de edificações residenciais para avaliar o desempenho térmico. O autor considerou durante todo o período de monitoramento as maiores, menores e a média de temperatura atingida, bem como definiu um dia de referência que corresponde à média das médias diárias. Com esse método o autor concluiu que a amplitude térmica interna das edificações é menor que a externa e as diferenças entre as temperaturas internas se deu em função da orientação solar dos ambientes.

A partir dos estudos analisados percebe-se que este conceito não tem como principal função determinar o desconforto térmico do usuário. Destaca-se a pesquisa de Papst (1999), sobre a análise da temperatura média mensal a fim de se obter uma melhor representação do desempenho térmico.

2.6.2 Graus-hora

Um dos conceitos bastante utilizado nas pesquisas é o somatório de graus-hora, que é utilizado para avaliar ambientes condicionados artificialmente e, dessa forma, dimensionar o consumo de energia desses locais. No caso de ambientes não condicionados artificialmente, o conceito de graus-hora é útil para identificar em quais horas os usuários estão ou não em conforto térmico.

O conceito de graus-hora consiste em estabelecer uma temperatura base e a partir dela determinar a temperatura excedente em que a temperatura interna da edificação e a temperatura externa estão acima ou abaixo da temperatura base. Os graus-hora de resfriamento correspondem ao somatório da diferença entre a temperatura horária e a temperatura base quando a primeira está acima da temperatura base. Já os graus-hora de aquecimento correspondem quando a primeira está abaixo da temperatura base. Assim, é possível comparar as edificações a partir do número de graus-hora, e assim, identificar as edificações com maior número de horas fora do tido como ideal determinado.

Papst e Lamberts (2002) compararam o desempenho térmico de três residências naturalmente ventiladas utilizando o conceito de graus-hora, horas de desconforto e graus-médio. Horas de desconforto se referem as horas fora dos limites da zona de conforto. Graus-médio é a razão do somatório de graus-hora pelo número de horas acima ou abaixo da temperatura tida como base, e permite identificar o quanto, em média, as temperaturas internas do ambiente estão acima ou abaixo da temperatura base. Nesse estudo, os autores utilizaram quatro temperaturas bases que permitiram verificar o número de horas de temperaturas acima de 25°C e 27°C e abaixo de 17°C e 19°C. Os resultados demonstraram quais ambientes possuíam pior e melhor desempenho térmico para temperaturas acima e abaixo da base estipulada. Os autores concluíram que a disposição e ocupação dos ambientes exercem forte influência no desempenho.

Utilizar diferentes temperaturas bases trouxe resultados interessantes, pois para a temperatura base de 25°C as diferenças de graus-horas dos ambientes foram significativas e, para 27°C, a variação é quase imperceptível. Para o procedimento de graus-médio ocorreu o mesmo, a análise com temperatura base de 27°C apresentou

valores bem próximos entre os ambientes analisados, mas com 25°C os valores foram mais expressivos. Os autores sugerem que para uma melhor análise ao utilizar o conceito de graus-hora e graus-médio deve-se adotar várias temperaturas bases para confrontar os resultados obtidos.

Papakostas e Kyriakis (2005) estudaram diversas temperaturas bases, que variavam em um intervalo de 0,5°C entre os valores de 10°C e 20°C, para graus-hora de aquecimento e 20°C e 27,5°C para graus-hora de resfriamento. Os resultados indicaram que todas as temperaturas bases foram capazes de determinar, em uma mesma ordem, os meses com maior desconforto térmico na edificação.

Já Nico-Rodrigues et al. (2015) analisaram o conceito de graus-hora para avaliar a influência da janela no desempenho térmico de edificações de residências multifamiliares. Os autores previram a frequência e intensidade da sensação de desconforto térmico ao analisar o período que ultrapassa o limite de conforto e as amplitudes da temperatura. A partir disso, foi possível determinar as situações diferentes para mesmos valores de graus-hora e indicar a pior situação.

O conceito de graus-hora permite a obtenção de resultados satisfatórios na avaliação de desempenho térmico, já que dimensiona o consumo de energia para climatizar e aquecer artificialmente os ambientes internos de edificações, além de permitir comparar se a edificação possui valores de graus-hora maior ou menor que outras edificações, analisando assim a eficiência energética de edifícios. Entretanto, sua limitação está na determinação de uma temperatura base, pois esse valor acaba se tornando bastante arbitrário e subjetivo para considerar o ambiente em desconforto térmico, visto que a situação de conforto depende de outros fatores e não somente da temperatura. O estudo de Papst e Lamberts (2002) recomenda a utilização de várias temperaturas bases para melhor análise, todavia a mudança de temperatura base modifica apenas a diferença dos graus-hora em uma análise comparativa, conforme Papakostas e Kyriakis (2005). Outra limitação do conceito de graus-hora, é a dificuldade de interpretação dos resultados, diante disso, os autores recomendam a adoção conjunta dos conceitos de graus-médio e horas de desconforto, que permitem compreender e comparar diferentes casos que apresentam desconforto térmico.

2.6.3 Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C)

O Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) aborda edificações condicionadas artificialmente, parcialmente e não condicionadas. Esse regulamento especifica os métodos que classificam as edificações comerciais e públicas quanto à sua eficiência energética.

O desempenho dos sistemas como envoltória, a eficiência e potência instalada de sistemas de iluminação e condicionamento de ar são classificados em um sistema de etiquetagem que varia de A a E, do mais eficiente ao menos eficiente, respectivamente. Esses sistemas podem ser avaliados por meio de dois métodos: prescritivo e de simulação.

No método prescritivo, o uso final de cada sistema é avaliado em relação ao cumprimento ou não dos requisitos mínimos e obrigatórios de acordo com o nível de eficiência almejado. Já no método de simulação, o desempenho do edifício real é comparado com o de uma edificação de referência, que também é baseada em uma edificação real, mas com características de desempenho já definidas, com o intuito de atender os requisitos mínimos especificados no regulamento. Assim, o consumo de energia do edifício real, calculado por meio de algum programa de simulação computacional deve ser menor ou igual ao da edificação de referência, para que assim, seja cedida a classificação.

Alguns programas de simulação como o EnergyPlus ou DesignBuilder, são aceitos pelos Regulamentos Técnicos de Qualidade do PROCEL. Esses programas simulam o desempenho térmico e energético das edificações bem como de todos os sistemas que compõem as mesmas. O RTQ-C analisa o desempenho dos sistemas de iluminação artificial (30%), condicionamento de ar (40%) e envoltória da edificação (30%).

Para os sistemas de iluminação artificial, a norma NBR 5413, que define os níveis mínimos de iluminância para diversos tipos de atividades. Entretanto, o RTQ-C analisa somente o consumo de energia e a carga térmica do sistema. Para a avaliação de eficiência energética do sistema de iluminação artificial o RTQ-C (BRASIL, 2010) baseia-

se no método da ASHRAE/IESNA 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (ASHRAE, 2010).

Já para os sistemas de condicionamento de ar, o RTQ-C dispõe de análises que incluem o nível de eficiência dos aparelhos, além de determinar pré-requisitos que sem o cumprimento não permitem a etiquetagem nível A da edificação. Esses pré-requisitos incluem: isolamento de tubulações para sistemas de aquecimento e refrigeração, as quais devem possuir espessuras mínimas obrigatórias; outro fator é o aquecimento artificial, cuja avaliação deve ser individual para cada aparelho, englobando bombas de calor, sistemas unitários de condicionamento de ar com ciclo reverso e aquecedores de acumulação a gás.

2.7 PROTEÇÕES SOLARES E VIDROS

Segundo Kremer (2002), os elementos de controle, ou protetores solares, surgem da necessidade de obstruir a incidência direta de luz solar. O uso de protetores solares pode minimizar dois dos maiores problemas ocasionados pelas aberturas laterais: o ofuscamento e o ganho excessivo de calor através da radiação solar direta. Almeida (2001) cita as principais condições para a utilização desses elementos de controle:

- controle da radiação solar;
- durabilidade dos materiais;
- temperatura do ambiente;
- conforto;
- controle de iluminação natural; e
- visual externo, hora do dia, cores e contrastes.

As proteções solares quando projetadas de maneira adequada podem garantir que a radiação solar penetre na edificação somente em períodos desejados. O dimensionamento de proteções solares depende de inúmeros fatores, mas principalmente do clima, do uso da edificação, do tipo de radiação (direta, difusa), do período do dia, da orientação da fachada e da época do ano. Há diversos tipos de proteções solares: internas, externas e incorporadas à própria envoltória. Podem ser fixas ou móveis, manuais ou automatizadas (VIANNA; GOLÇALVES, 2001).

Entre as várias soluções para limitar o ganho de calor, interceptar a radiação solar que ela atinja os fechamentos transparentes por meio do uso de dispositivos externos de sombreamento tem demonstrado ser a mais eficiente (GRATIA; HERDE, 2007; KIM et al., 2012). Os dispositivos de sombreamento podem garantir que os raios passem pelas aberturas apenas nos períodos desejados, diferentemente dos vidros revestidos de controle solar.

A integração de elementos no fechamento transparente altera o caminho e a quantidade de luz natural transmitida, alterando os níveis de iluminação disponíveis para a realização da tarefa visual. Essa alteração ocorre devido o bloqueio parcial da luz natural que incide sobre a abertura e, da variação da direção que a luz sofre por causa dos múltiplos processos de reflexões nos elementos. A luz natural incidente no interior de determinado ambiente passa por alterações quantitativas e de distribuição espacial, em virtude das propriedades geométricas e da refletância dos objetos de controle solar, podendo ocorrer iluminação natural insuficiente ou até mesmo excessiva, dependendo do dimensionamento (BOGO, 2007).

As proteções solares externas são mais utilizadas para evitar a entrada de raios de sol em inclinações elevadas. Raios solares de baixa inclinação, pela sua profundidade de alcance, são os mais difíceis de serem evitados. Dessa maneira, as fachadas voltadas a leste e oeste são as que necessitam maior esforço de dimensionamento, tendo como indicação os elementos verticais paralelos à abertura (DIDONÉ, 2009).

Proteções solares móveis e reguláveis são as mais indicadas para radiação solar direta, em quaisquer situações de clima, céu ou característica do edifício, sejam elas horizontais ou verticais, uma vez que permitem barrar a radiação somente nos períodos desejáveis. Uma forma especial de proteção solar é a prateleira de luz, a qual aumenta o alcance da iluminação indireta em relação à profundidade do ambiente (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

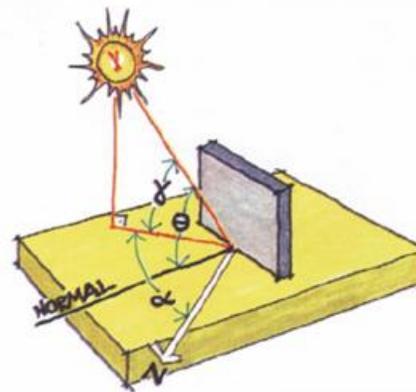
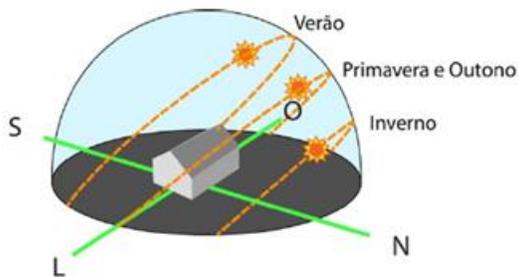
As prateleiras de luz são elementos horizontais ou inclinados, que separam as aberturas em duas porções, sendo a superior destinada à iluminação do ambiente e a inferior à ventilação e à integração visual do meio interno com o exterior da edificação. Essas proteções solares protegem as zonas internas próximas às aberturas da radiação

solar direta e redirecionam a luz incidente para o teto do ambiente, melhorando assim, a distribuição de iluminação natural interior (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

As prateleiras de luz podem ser curvas, retas, externas, internas ou até mistas e sua superfície superior, com o objetivo de aumentar a reflexão da iluminação natural, pode possuir acabamento em materiais como alumínio ou espelho, de forma a refletir ainda mais a luz (AMORIM, 2002).

Projetar um dispositivo de sombreamento exige maior conhecimento da geometria da insolação, à qual o dispositivo é mais sensível (FELIPPE, 2016). A posição do sol, em relação a um ponto da Terra, varia ao longo do dia e ao longo do ano. O Sol pode tomar diferentes posições no horizonte durante o dia, devido ao movimento de rotação do planeta em torno do eixo polar. Também nota-se que no verão o sol atinge posições mais altas do que no inverno, devido ao movimento de translação em torno do Sol. Essa posição do Sol na abóboda celeste pode ser definida pelos ângulos de azimute solar (γ), altura solar (α) e pelo ângulo de incidência solar (θ), conforme demonstra a Figura 4.

Figura 4 - Geometria da insolação - ângulos



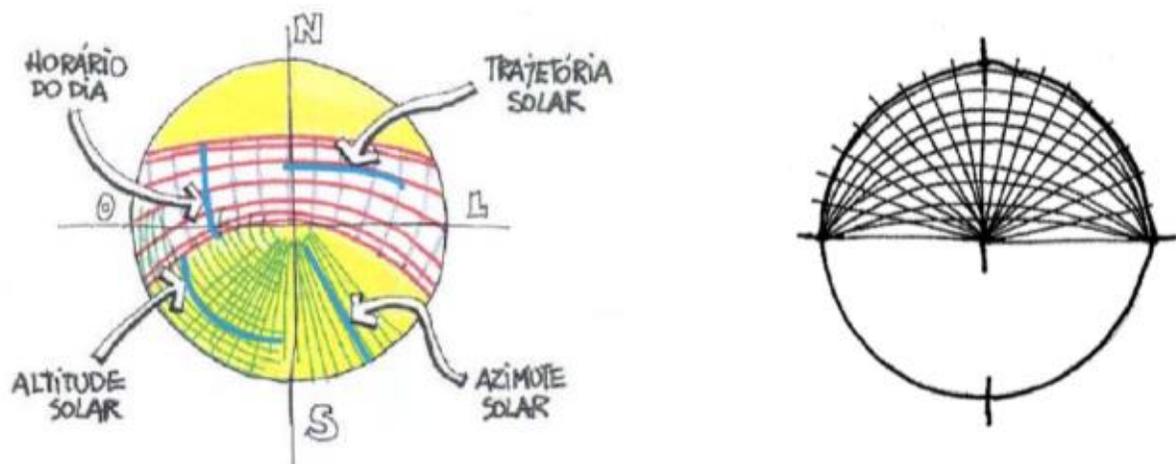
Fonte: (adaptado de FELIPPE, 2016).

- Azimute solar (γ): é o ângulo formado entre a projeção do ângulo de incidência solar sobre o plano e a orientação norte. Sempre tido no sentido horário.
- Altitude solar (α): é o ângulo formado entre o raio solar e a sua projeção no plano. Esse ângulo varia com a hora do dia e o período do ano. Por exemplo, ao nascer do sol sua altura é igual a zero.

- Incidência solar (θ): é o ângulo formado entre o raio solar e a normal do plano receptor. Normal é a linha perpendicular ao plano vertical da edificação.

Esses ângulos são a base para os métodos de projeto de dispositivos de sombreamento. Dutra (1994) cita o método de Olgyay como o mais difundido. Ele consiste na construção de máscaras de sombreamento sobre a carta solar, conforme representado na Figura 5, para cada abertura da edificação.

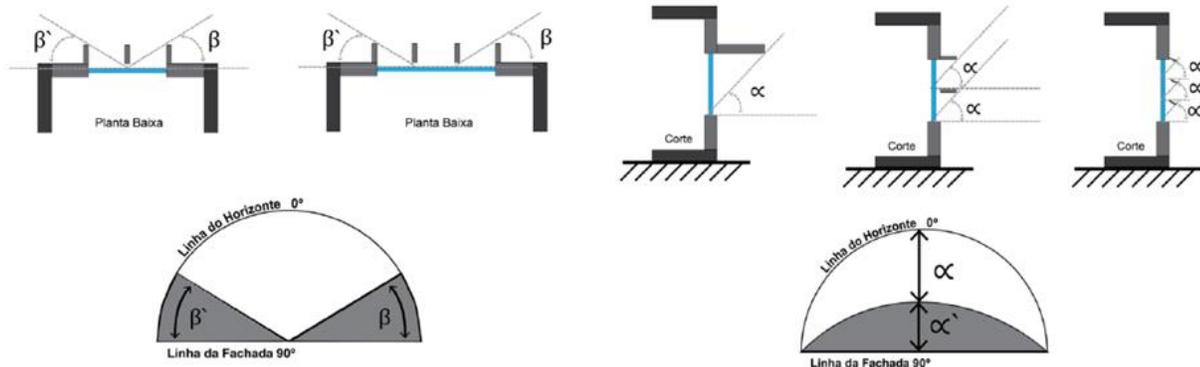
Figura 5 - Carta solar e transferidor de ângulos



Fonte: (DUTRA, 1994).

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014) essas máscaras são determinadas a partir da utilização do transferidor de ângulos verticais e horizontais de sombreamento (α e β) em planta e em corte (ver Figura 6).

Figura 6 - Exemplos de brises verticais e horizontais com máscara de sombreamento



Fonte: (FELIPPE, 2016).

Segundo Dutra (1994) um brise é tido como eficiente quando sombreia o máximo possível do sol indesejável e, ao mesmo tempo, o mínimo do sol restante. A definição desses intervalos de tempo fica a cargo do projetista.

Devido à grande variedade de formas, cores e tamanhos de proteções solares, além da variedade de vidros, o conhecimento de quanto estes influenciam a disponibilidade de iluminação natural no interior das edificações e paralelamente contribuem para a redução de ganhos de calor, leva à necessidade de estudos que envolvam simulação computacional, assunto do próximo item.

2.8 SIMULAÇÕES

Segundo Mendes et al. (2005), na década de 1970, surgiram as primeiras ferramentas para simulação de edificações. E, em seguida surgiram operações em ambiente Unix, a partir do qual foram desenvolvidos outros instrumentos computacionais que são utilizados até hoje, como o DOE-2, BLAST, RADIANCE e ESP-r. A partir de 1990 começaram a ser desenvolvidas interfaces para esses programas, que fossem compatíveis com o sistema operacional do Windows, através das quais programas como EnergyPlus, Fluent e CEX puderam ser desenvolvidos. O programa DesignBuilder, desenvolvido na Inglaterra, pode ser citado como uma interface facilitadora do uso do EnergyPlus.

Alguns desses programas computacionais têm a finalidade de realizar análises termo-energéticas (EnergyPlus, TRNSYS) ou luminosas (Adeline, Daysim) das

edificações e seus algoritmos permitem analisar o potencial de redução de energia elétrica. Esses programas permitem propor soluções e orientações para decisões de projetos. Essas simulações auxiliam profissionais da área de Engenharia e Arquitetura a desenvolver projetos mais eficientes termicamente, levando em conta as técnicas construtivas e tipos de condicionamento desejados, além de possibilitar também a realização de *retrofits*.

Além disso, alguns países vêm desenvolvendo programas computacionais menos complexos para serem utilizados através de uma interface mais facilitada, como é o caso do DesignBuilder. Esse programa foi desenvolvido na Inglaterra, para ser utilizado como interface, facilitando o manuseio do programa EnergyPlus. Alguns programas são voltados para análises térmicas, ou luminosas e energéticas das edificações, sendo possível analisar soluções para a redução de gastos com energia elétrica. Esses programas facilitam essas análises, que geralmente possuem grande número de dados para o cálculo e dimensionamento termo-energético e luminoso.

Moreira et al. (2005) menciona diversos trabalhos que fazem uso de programas de simulação computacional com o intuito de avaliar as condições termo-energéticas de edificações, alguns deles realizados no Brasil, na cidade de Florianópolis, que analisam a influência de certas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edifícios (GÓMEZ; LAMBERTS, 1995; LEE; WESTPHAL; LAMBERTS, 2001; CARLO; GHISI; LAMBERTS, 1998; WESTPHAL; LAMBERTS, 2000).

Reinhart et al. (2006) citam trabalhos desenvolvidos com objetivo de analisar as condições luminosas das edificações, nos quais os programas fornecem um processo de avaliação para quantificar a luz natural em um ambiente interno, bem como os níveis de luminâncias e iluminâncias (MARDALJEVIC, 2000; REINHART; ANDERSEN, 2006; REINHART; WALKENHORST, 2001 *apud* REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006). A Tabela 2 lista alguns programas computacionais que fazem simulações dinâmicas de luz natural por meio do algoritmo RADIANCE (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

Tabela 2 - Programas de simulação computacional de iluminação natural dinâmica

Programa	Programa Simulador	Algoritmos de simulação dinâmica
Adeline	Radiance	Céu estatístico
Daysim	Radiance	Daylight coefficients & Perez
ESP-r	Radiance	Daylight coefficients & Perez
Lightswitch Wizard	Radiance	Daylight coefficients & Perez
SPOT	Radiance	Céu de simulação anual da CIE

Fonte: (adaptado de REINHART et al., 2006)

O programa EnergyPlus foi criado a partir da integração de dois outros programas, o BLAST e o DOE-2, e desenvolvido em parceria com o *U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories (CERL)*, *University of Illinois (UI)*, *Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)*, *Oklahoma State University (OSU)*, *GARD Analytics* e *Department of Energy (DOE)*. É um programa de simulação termo-energética que equilibra o balanço de calor do *BLAST*, programas de iluminação natural e algoritmos de transferência de calor e fluxo de ar entre as zonas (CRAWLEY et al., 1999).

O EnergyPlus prevê o consumo de energia levando em conta as trocas térmicas do edifício com o exterior, em função da caracterização da envoltória, como materiais de cobertura e fachadas, das cargas instaladas, sistemas de condicionamento e iluminação, padrões de uso e ocupação (CRAWLEY et al., 1999). Nas simulações de luz natural, o EnergyPlus determina a influência do aproveitamento da luz natural no consumo de energia de acordo com as condições de clima do local analisado e dos tipos de controle de iluminação e gerenciamento de aberturas, em função da disponibilidade de luz natural e ocorrência de ofuscamento. O cálculo de luz natural é derivado do programa DOE-2 (ENERGYPLUS, 2007), por esse motivo, o programa possui melhor desempenho ao simular ambientes que possuem formato cúbico, sem divisórias internas. Winkelmann e Selkowitz (1984) não recomendam o método *Split Flux* para ambientes em que a profundidade medida da janela à parede dos fundos seja três vezes maior do que a altura do pé direito. Nesse caso, o método pode acabar superestimando em mais de duas vezes a iluminação interna refletida na parede dos fundos.

Winkelman e Selkowitz (1984) verificaram o comportamento do método *Split Flux* por meio de duas validações: na primeira, as análises paramétricas foram realizadas para testar a sensibilidade de cada processo de cálculo e verificar parâmetros de projeto tais

como a influência da janela, a transmitância térmica do vidro e a refletância das superfícies internas; na segunda análise foi feita uma comparação por meio de três métodos diferentes – o uso do programa DOE-2, o uso do programa SUPERLITE e medidas feitas em modelos de escala no simulador de céu do laboratório de *Lawrence Berkeley* (LBL). Os resultados indicaram que com o DOE-2 o método *Split Flux* superestimou a iluminação por meio das interreflexões internas.

Ramos (2008) realizou um cálculo de iluminação natural por meio da comparação das iluminâncias internas calculadas com as simulações realizadas pelos programas Daysim/Radiance, EnergyPlus e Troplux. Concluiu-se que as deficiências existentes no programa EnergyPlus que mais influenciam o cálculo da iluminação natural são: o cálculo da parcela da luz refletida no ambiente e o cálculo das iluminâncias externas maiores que as reais. Dessa maneira, se faz necessário o desenvolvimento de um modelo de céu dinâmico mais adequado à realidade.

O Daysim é um programa computacional de análises da luz natural, desenvolvido pelo *National Research Council Canada* (NRCC), que faz uso do algoritmo RADIANCE¹ que calcula as iluminâncias e luminâncias internas de um ambiente ao longo do ano (REINHART, 2006). Por meio de arquivos climáticos anuais, o programa converte os dados solares em séries horárias e sub-horárias. Por meio do *Daylight Coefficient*, baseando-se no programa RADIANCE, que utiliza o método do raio traçado (Ray-trace) e o modelo de céu de Perez et al. (1990), o programa simula a iluminação natural sob qualquer condição de céu (REINHART; WALKENHORST, 2001). Com a integração da plataforma RADIANCE ao método *Daylight Coefficient*, o Daysim calcula o perfil anual de iluminação natural.

A partir de um modelo tridimensional do ambiente é que são realizadas as simulações. Esse modelo pode ser importado de programas como Ecotect e Sketchup. Nesses modelos são determinadas as propriedades ópticas das superfícies e do arquivo climático, de onde são retirados dados com latitude, radiação e longitude. Além disso, o

¹ O RADIANCE é um programa de simulação desenvolvido na Universidade de Califórnia, que se baseia no comportamento físico da luz, predizendo a distribuição de iluminâncias e luminâncias em edificações sob condições de céu definidas. O mecanismo de funcionamento do programa tem base no método de cálculo Ray-trace amplamente aceito na avaliação de iluminação natural em ambientes internos (WARD, 1993).

programa permite o cálculo de métricas como *Daylight Factor* (DF), *Useful Daylight Illuminance* (UDI) e *Daylight Autonomy* (DA) para os pontos determinados. Outra opção disponível é o cálculo do consumo de sistemas de iluminação artificial de acordo com os padrões de uso escolhidos (número de pessoas no local e horas de ocupação), bem como potência e sistema de controle da iluminação artificial.

Chodhury et al. (2007) realizaram a simulação de consumo de energia do edifício da Tecnologia da Informação (TI), no campus de Rockhampton, da Universidade de Queensland Central, na Austrália, por meio do programa DesignBuilder. Os autores concluíram, que durante o inverno, o prédio apresenta 100% das horas em conforto, além de gerarem resultados da demanda de energia elétrica necessária para abastecer a edificação e proporcionar esse índice de conforto térmico aos usuários.

O DesignBuilder é um programa computacional especializado para análises térmicas, lumínicas e energéticas de edificações em geral. Por ser a primeira interface gráfica do programa de simulação EnergyPlus, o *software* oferece a possibilidade de analisar desde níveis de conforto até consumos energéticos e fluxos de calor, portanto, diante disso, foi o programa computacional escolhido para a realização desta pesquisa.

2.9 PESQUISAS CORRELATAS

2.9.1 Pesquisas sobre integração de iluminação natural e artificial

Os autores Franzetti, Fraisse e Achard (2004) analisaram a influência no consumo energético quando ocorre a integração de luz natural a um sistema de iluminação artificial em edifícios de escritórios. A análise foi feita através do programa CA-SIS anexado ao LIGHT, que verificou a simulação de luz natural. Os autores analisaram dois casos, um considerando somente a iluminação artificial e o outro considerando a integração com a iluminação natural. Os resultados indicaram que, ao se utilizar a iluminação natural, o consumo global de energia elétrica diminuiu em mais de 50%. O consumo devido a refrigeração artificial também sofreu redução, já que o mesmo foi utilizado somente no verão para remover o ganho de calor por iluminação artificial. Por fim, o consumo em aquecimento aumentou, devido ao ganho interno inferior gerado pelo sistema de

iluminação artificial integrado ao natural, contudo foi proporcionalmente inferior à diminuição na refrigeração e ao consumo em iluminação artificial.

Também foram realizadas pesquisas analisando diferentes sistemas de iluminação artificial. Knight (1998), confrontou os resultados de economia de energia derivados de medições realizadas em três sistemas de controle de iluminação artificial em função da iluminação natural: um sistema padrão, um sistema inteligente e um sistema inteligente melhorado, caracterizado por luminárias padrão para lâmpadas fluorescentes tubulares de 38 mm. Foi analisada a iluminância considerando somente iluminação artificial e considerando diferentes condições de luz natural externa. O primeiro sistema fez uso de um reator com partida convencional (*starter*), o sistema inteligente utilizou um reator de partida rápida e o sistema melhorado baseou-se em um reator de partida rápido melhorado. A partir das análises, o estudo conclui que o sistema inteligente melhorado economizava 91% de energia elétrica se comparado ao sistema padrão e 81% se comparado ao sistema inteligente.

Onaygil e Guler (2003) quantificaram a energia que pode ser economizada usando um sistema de controle de iluminação responsivo à luz do dia, em comparação com um sistema de iluminação convencional, avaliando dados coletados durante um ano em Istambul, Turquia. Os autores fixaram os níveis de iluminância em 500 lux, dessa forma, quando a luz natural atingisse esse nível, a iluminação artificial era desligada. Os níveis foram medidos a cada 6 minutos, durante 174 dias. Os resultados indicaram que em edifícios de escritórios houve cerca de 30% de economia de energia elétrica ao se utilizar o sistema com controle automático de iluminação.

Bodart e Herde (2002), estudaram o impacto do uso integrado entre sistemas de iluminação artificial com iluminação natural através da comparação entre diferentes configurações de janelas, percentuais de área envidraçada e tipos de vidros em relação ao consumo energético em iluminação e ao consumo global de energia elétrica para escritórios na Bélgica. O programa utilizado pelos autores foi o Superlink para a realização das simulações de iluminação natural. Os resultados dessas análises foram inseridos no programa TRNSYS para a obtenção dos consumos de energia elétrica da edificação, considerando o período de um ano inteiro. Foi demonstrado que o potencial

de redução de consumo quando se utilizou a integração entre iluminação natural e artificial era de 39%.

Já Roisin et al. (2008) realizaram a análise de potencial de economia de energia elétrica em iluminação, para escritórios, utilizando diferentes sistemas de controle da iluminação artificial para três cidades da Europa, Atenas, Bruxelas e Estocolmo. O método foi baseado em simulações com o programa Daysim para realizar cálculos de luz natural, em medições de laboratório para avaliar consumos precisos de energia do sistema e na implementação de um novo algoritmo para simular um sistema de escurecimento de luz do dia de malha fechada. Os autores concluíram que o local e a orientação tiveram pouco impacto no consumo de energia elétrica, entretanto o fator controle da potência da iluminação artificial em função da iluminação natural era determinante na redução do consumo. O potencial de economia em iluminação variou em cerca de 61% para um escritório com orientação sul em Atenas e, 45% para um escritório orientado a norte em Estocolmo.

Krarti, Erickson e Hillman (2005) desenvolveram um método simplificado para quantificar o impacto da iluminação natural de diversas combinações de tipologias de geometrias, tamanhos de aberturas e tipos de vidros para as cidades de Atlanta, Chicago, Phoenix e Denver nos Estados Unidos. Para os resultados, os autores só levaram em consideração o consumo de energia elétrica em iluminação artificial. Os autores concluíram que, para a maioria dos edifícios comerciais com vidros de transmitância acima de 0,5 e aberturas com razão entre área de janela e área de piso maior que 0,5, o consumo de energia elétrica não reduzia consideravelmente e que a localização geográfica influência de forma reduzida no potencial de economia. Uma correlação direta foi estabelecida entre a transmitância do vidro e a área da janela nas reduções de consumo anuais de iluminação. Por fim, um modelo foi proposto para estimar a economia de energia de iluminação dada a área do perímetro, a área de abertura e o tipo de janela.

2.9.2 Pesquisas sobre integração de condicionamento artificial com iluminação artificial e natural

Com o intuito de avaliar o potencial de economia de energia elétrica quando há a integração da iluminação artificial e natural com ar condicionado, Ghisi e Tinker (2001)

propuseram uma metodologia de dimensionamento de área ideal de janela, analisando diferentes geometrias de salas em edifícios comerciais em Florianópolis e Leeds, na Inglaterra. Os autores analisaram a influência de áreas de abertura, entre 0% e 100% da área de fachada, com incrementos de 10%, na combinação de cinco geometrias de sala com dez índices de ambiente², entre 0,60 e 5,00, para as quatro orientações em 8 cidades brasileiras e uma inglesa. Os resultados indicaram um potencial de economia de energia elétrica entre 20,6% e 86,2% para Florianópolis e de 10,8% e 44,0% para a cidade de Leeds.

Didoné (2009) e Didoné e Pereira (2010) analisaram o impacto da luz natural na eficiência energética de edifícios não residenciais na cidade de Florianópolis – SC. Quatro modelos de sala foram estudados para as quatro orientações principais, com diferentes percentuais de área envidraçada na fachada, FS e ângulos de sombreamento horizontais e verticais, criando assim um modelo base com baixa eficiência energética e sem aproveitamento de luz natural para cada um dos quatro modelos. As análises de iluminação natural foram realizadas através do programa Daysim e esses resultados foram inseridos no EnergyPlus onde foram quantificadas as simulações termo energéticas. Os resultados indicaram redução do consumo de energia elétrica para todos os modelos que fizeram uso da iluminação natural em comparação com o modelo base. Em consequência à essa estratégia, o consumo dos sistemas de ar-condicionado sofreu um decréscimo, devido à redução das cargas internas provindas dos sistemas de iluminação artificial. Segundo os autores, o controle do sistema de iluminação artificial em virtude da utilização da luz natural acarretou uma redução entre 12% e 52% do consumo global de energia elétrica, se comparado ao modelo base.

Li e Lam (2000) também analisaram o potencial de economia de energia ao integrar sistemas de iluminação artificial com luz natural. Porém, neste método, os autores consideraram o consumo de refrigeração ao utilizar iluminação natural. O método se baseou em medições de radiação solar vertical e dados de iluminação. Para as medições, os autores consideraram dois tipos de controles de iluminação, o primeiro tipo de controle fornece o modo de ativação ou desativação e, o segundo permite a definição de níveis

² Índice de ambiente, usado em projetos de iluminação, pode ser definido através da Equação: $K=(CL)/[(C+L)h]$, onde C é o comprimento da sala (m), L é a largura da sala (m) e h é a altura entre a luminária e o plano de trabalho (m) (GHISI; TINKER, 2001).

máximos e mínimos de escurecimento. Através dessa metodologia concluiu-se que para uma edificação padrão de escritórios em Hong Kong, potencial de economia no consumo de energia foi de 48,4%.

Rupp e Ghisi (2017) adaptaram o método desenvolvido por Ghisi e Tinker (2001) para avaliar o consumo de eletricidade em edifícios de escritórios na cidade de Florianópolis – SC. A pesquisa considerou o conforto térmico e o desempenho da luz natural como fonte de iluminação integrada à iluminação artificial em quatro casos. O primeiro caso levou em conta a iluminação artificial e condicionamento de ar; o caso 2, a integração da luz natural e artificial com ar-condicionado; o caso 3 fez uso de ventilação híbrida e iluminação artificial e, por último, o caso 4 utilizou a integração da luz natural e artificial com a ventilação híbrida. As simulações de iluminação natural foram realizadas no programa Daysim e inseridas no EnergyPlus. Os resultados demonstraram que a integração da luz natural com a iluminação artificial (caso 2) gerou maior potencial de economia de energia do que a ventilação híbrida (caso 3). O último modelo mostrou que o potencial de economia varia de 4,2% a 64,9%, permitindo a aplicação de maiores áreas de janela com menor consumo.

2.9.3 Pesquisas sobre o uso de proteções solares

Um estudo realizado por Didoné e Bittencourt (2008) demonstrou o impacto causado pela ausência de proteções solares no consumo de energia elétrica em edificações hoteleiras. A metodologia da pesquisa foi baseada na análise comparativa do consumo de energia devido ao sistema de refrigeração e na avaliação do desempenho luminoso obtido a partir da alteração das configurações construtivas de quartos de hotel, os autores consideraram a fachada em pano de vidro fumê, com e sem dispositivos de proteção solar. As simulações foram realizadas por meio dos programas Ecotect e Lumen Micro. O uso de dispositivos de proteção solar e, dessa maneira, o controle de entrada da radiação solar direta, possibilitou a diminuição dos ganhos térmicos no interior da edificação, reduzindo o consumo de energia por condicionamento de ar entre 2% e 6%.

Wong e Istiadji (2004) compararam o consumo de uma edificação residencial existente em Cingapura com os resultados obtidos na simulação do mesmo edifício com a utilização de prateleiras de luz, brises horizontais com diferentes comprimentos e

a combinação de brises horizontais e verticais com duas aletas. As simulações foram feitas por meio do programa Lightscape para simulações de luz natural. Além disso, foram realizadas as medições em campo para fornecer dados para a validação de saída da simulação. Os resultados mostraram que as iluminâncias foram maiores que as recomendadas, exceto com a combinação de aletas laterais e salientes.

Simulações para análise termo-energética de edifícios de escritórios foram realizadas por Poirazis, Blomsterberg e Wall (2008). Os autores estudaram o impacto de diferentes porcentagens de área envidraçada em fachadas (*Window-to-Wall Ratio* - WWR = 30%, 60% e 100%), para as quatro orientações com diferentes transmitâncias térmicas de vidros. Três pontos de controle e sistemas de sombreamento foram analisados (grelhas externas fixas, venezianas internas, telas internas e persianas intermediárias) e dois tipos de escritórios. Os pontos de controle foram rotulados como: ruim, normal e estrito. Os resultados indicaram que para WWR igual a 100% e venezianas internas, a demanda de resfriamento aumenta em 37% em relação a persianas intermediárias.

Estratégias considerando um controle eficiente de proteções solares com base no nível de radiação na fachada e temperatura interna foram estudadas por Moeseke, Bruyere e Herde (2007). Um edifício na Bélgica com orientação sul foi analisado através do programa TRNSYS. Dois tipos de simulações foram realizados; na primeira, uma tela externa com duas posições (aberta/fechada) e três tipos de esquemas de gerenciamento foram testados (o primeiro baseado sobre a irradiação da fachada, o segundo na temperatura interna e o terceiro na combinação dos dois); na segunda simulação, o resfriamento livre com três modos de gerenciamento e uma proteção horizontal foram investigados. Como resultado, os autores concluíram que um modo de controle baseado apenas no nível de irradiação determina um aumento de energia de 1% a 37% em comparação com um modo de controle baseado na temperatura interna.

Shehabi et al. (2013) realizaram simulação para estimar o potencial de redução de energia de estratégias solares verticais e exploraram a redução extra, ao se utilizar em conjunto os revestimentos de janela de elementos ópticos prismáticos. As simulações foram realizadas considerando um ambiente comercial dos Estados Unidos. Os resultados indicaram que os revestimentos quando aplicados em conjunto com as proteções verticais possuem o potencial de redução de energia em iluminação elétrica

em até 930 TBtu. Os autores concluíram também que esta redução na demanda de iluminação elétrica representa um aumento de aproximadamente 85% na economia de energia estimada a partir da implementação de estratégias convencionais de luz vertical.

Atzeri, Cappelletti e Gasparella (2014) simularam diferentes configurações de um escritório em espaço aberto localizado em Roma, através do EnergyPlus. A fim de comparar o desempenho em relação ao conforto térmico e visual e ao uso de energia primária, diferentes dispositivos de sombreamento externos e internos foram analisados. Como conclusão os autores obtiveram que, embora o uso de proteções solares sempre melhore o conforto térmico, a demanda de energia pode aumentar devido ao efeito da posição interna das sombras externas em combinação com orientações específicas e tipos de vidros.

Um algoritmo com o qual um dispositivo de sombreamento móvel externo pode ser operado com um dos três modos de controle foi proposto por Choi, Lee e Jo (2017). A configuração de controle do algoritmo foi elaborada de maneira a se considerar a conservação de energia, e satisfação da iluminação e a proteção contra reflexos, sendo seu controle realizado pelo usuário. O algoritmo inclui um procedimento de avaliação por hora, para obter a faixa de movimento permitido do dispositivo de sombreamento que satisfaz cada um dos três propósitos da operação. Os testes de simulação em escala real para os três modos de controle foram conduzidos durante diferentes períodos de tempo no verão para verificar o desempenho das estratégias de controle. Os resultados comprovam a eficácia do algoritmo de controle de proteções solares, já que o mesmo fornece efeitos satisfatórios entre os fatores de energia e conforto visual. Os autores ainda afirmam que os resultados podem fornecer aos usuários opções para controlar dispositivos de sombreamento móveis em edifícios de acordo com suas finalidades e preferências.

Cavaleri, Cunha e Gonçalves (2018) avaliaram o desempenho da luz natural em edifícios de escritório em São Paulo para a definição da zona passiva de iluminação com e sem proteções solares, para diferentes orientações. O edifício foi modelado no programa Rhinoceros-5 e as avaliações de desempenho foram realizadas com o plug-in Diva-for-Rhino. Os autores partiram de 75% de UDI como critério, com duas faixas de iluminâncias: UDI 300-3000 e UDI 100-3000, que foram comparadas ao desempenho

com base em um valor mínimo de 500 lux. Os resultados indicaram dificuldades em atingir os 75% de UDI na área do escritório e evidenciaram maior influência do sombreamento externo nos limites periféricos da planta.

Neste capítulo foi apresentada a revisão de literatura que irá orientar a definição dos fatores avaliados na pesquisa. A revisão abordou as questões de integração de iluminação natural com iluminação artificial e condicionamento de ar, assim como a influência das proteções solares e tipologias de vidros no consumo de energia elétrica das edificações, em sua maioria, comerciais.

A aceitação e necessidade da luz natural em ambientes internos é irrefutável. A revisão bibliográfica apresentou resultados de estudos que corroboram o potencial de tornar edificações energeticamente mais eficientes a partir da aplicação dessa estratégia passiva (FRANZETTI; FRAISSE; ACHARD, 2004; KRARTI; ERICKSON; HILLMAN, 2005; FASI; BUDAIWI, 2015; ONAYGIL; GULER, 2003). Além da vantagem das questões relacionadas à redução do consumo de energia elétrica com iluminação artificial, o uso de luz natural nos ambientes colabora com a criação de um ambiente mais confortável e melhora a performance dos usuários, devido à melhores condições de critérios visuais, que só podem ser obtidos por meio da luz natural.

Além disso, outro método para tornar as edificações mais eficientes energeticamente é o uso adequado de proteções solares juntamente com a aplicação correta de tipologias de fechamentos transparentes. Como já citado anteriormente, os vidros são os materiais que permitem a maior entrada e saída de carga térmica na edificação. Assim, se torna claro a necessidade do dimensionamento dessas características de aberturas, como apontam diversos estudos (GHISI; TINKER, 2001; DIDONÉ; BITTENCOURT, 2008; POIRAZIS; BLOMSTERBERG; WALL, 2008).

Dessa maneira, pesquisas como a de Bodart e Herde (2002), que avaliaram a influência da integração entre iluminação natural e iluminação artificial com condicionamento de ar, por meio da combinação de diferentes proteções solares e tipologias de vidro, servirão como base para a metodologia proposta nesse trabalho, de forma a definir esses fatores. Do mesmo modo, trabalhos como o de Wong e Istiadji (2004), servirão como base para a definição de elementos de proteção solar, como prateleiras de luz e brises horizontais e verticais. Por fim, o estudo de Didoné, Wagner e

Pereira (2014), irá orientar a definição de um modelo de edifício padrão representativo para o Brasil, as características construtivas comumente usadas nessas edificações, como percentual de janela na fachada, tipologia de vidro, materiais construtivos de fachadas e cobertura, hábito de ocupação de seus usuários e sistemas de iluminação artificial e condicionamento de ar.

Evola, Gulla e Marletta (2017) avaliaram a eficiência de diversos dispositivos de controle solar para um edifício de escritório com grande percentual de abertura nas fachadas. O objetivo foi identificar medidas que otimizassem o desempenho térmico do edifício. Os resultados indicaram que a película de controle solar permite economizar até 59,8% de energia em comparação com persianas internas leves. Além disso, as persianas externas resultaram em 47,7% de economia de energia.

Hoffmann et al. (2016) analisaram o desempenho de 10 casos combinados de tipologias de vidros e dispositivos de sombreamento para as cidades de Oakland e Burbank, na Califórnia. Os resultados indicaram que os brises externos reduziram 32% da intensidade do uso de energia em Burbank e 33% em Oakland.

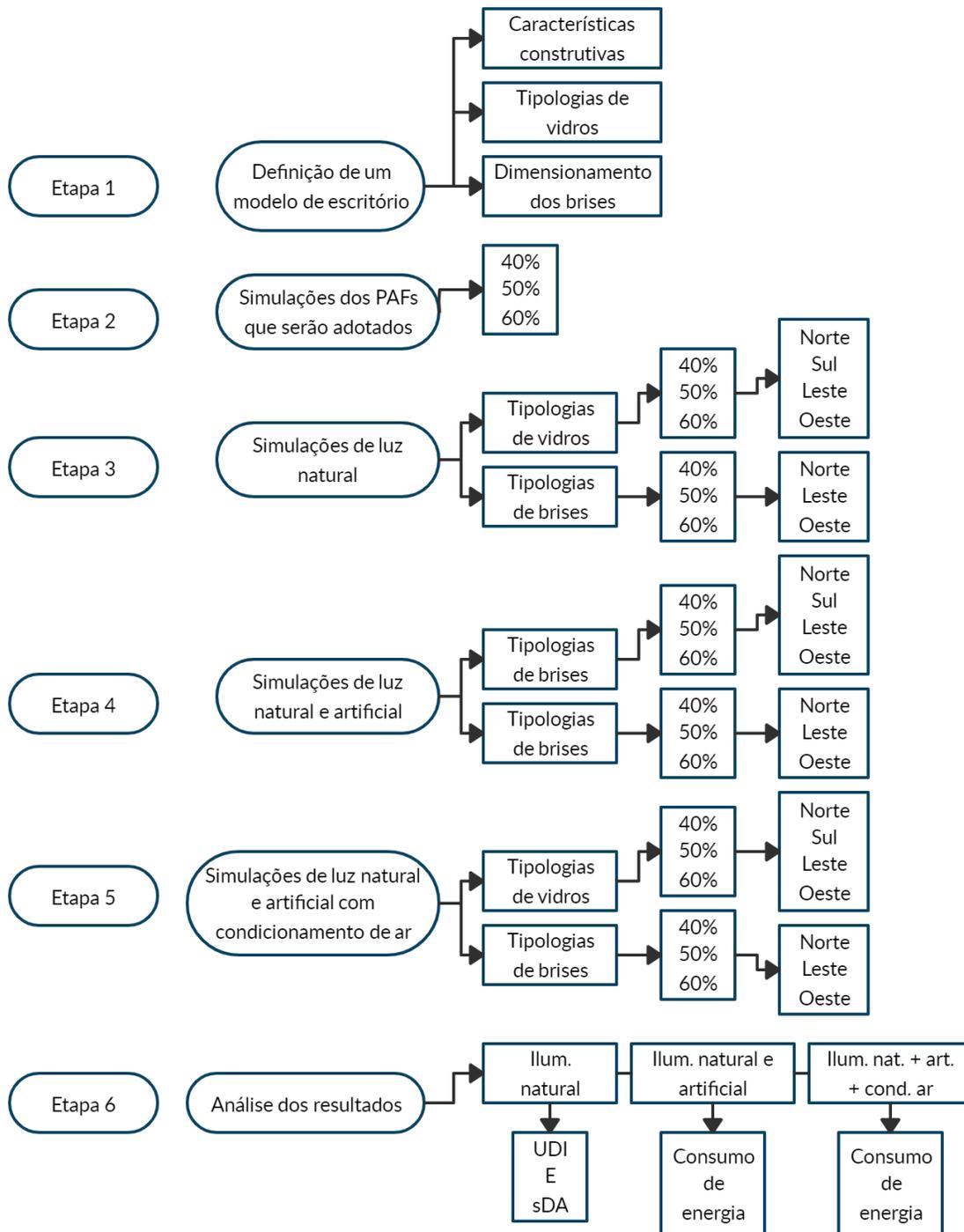
Xiong e Tzempelikos (2016) analisaram a probabilidade de ofuscamento pela luz do dia para dispositivos de sombreamento por meio de simulações computacionais. Os resultados experimentais mostraram que os valores de DGP permaneceram abaixo de 0,35 na maioria dos casos, enquanto os níveis de iluminação do plano de trabalho eram adequados e o uso de energia de iluminação foi significativamente reduzido com todas as estratégias de controle baseado em modelo. O controle da iluminação do plano de trabalho resultou em posições de sombra mais altas com risco potencial de ofuscamento em alguns casos.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é descrito o método proposto para alcançar os objetivos da pesquisa, bem como os materiais e ferramentas necessárias para a sua realização. A pesquisa tem caráter quantitativo e é baseada em resultados de simulações computacionais.

A pesquisa se divide em 6 etapas principais, a primeira diz respeito a determinação de um edifício representativo de escritórios, bem como suas características construtivas. Na segunda etapa, foram simulados diferentes percentuais de abertura na fachada (0% a 100%) para determinação de percentuais tidos como adequados no quesito iluminação natural. Na terceira etapa, foram realizadas simulações de luz natural por meio de combinações de dispositivos de sombreamento e tipologias de vidros para as aberturas determinadas na etapa 2. Na etapa 4 foram realizadas as mesmas combinações da etapa 3 com a iluminação artificial integrada com natural. Por fim, na etapa 5 as mesmas combinações foram feitas com a integração do condicionamento de ar. Por fim, na etapa 6 foram feitas as análises dos resultados. As simulações são descritas de forma detalhada a seguir. A Figura 7 mostra o fluxograma das etapas do método.

Figura 7 - Fluxograma das etapas do método proposto para esta pesquisa

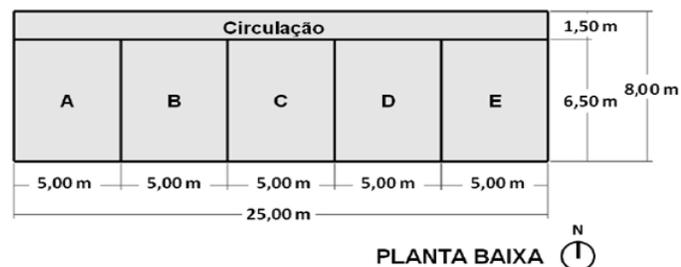


3.1 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

A primeira etapa foi caracterizada pela definição de um modelo representativo de edifício de escritórios brasileiro. O modelo computacional foi obtido de levantamentos reais e generalizados para serem transformados em indicadores para a simulação. O edifício utilizado na pesquisa teve como base o modelo preconizado por Didoné, Wagner e Pereira (2014). Esse modelo foi escolhido pois, por meio de levantamentos de dados como tamanho de aberturas, área de salas de escritório, materiais construtivos de fachadas e coberturas, hábitos de ocupação, densidade de carga de equipamentos e sistemas artificiais, representa um modelo de edifício de escritório mais encontrado na região sul do Brasil (SANTANA, 2006).

O edifício é composto por um pavimento tipo com cinco salas de escritório e um corredor lateral, com dimensões 25 m x 8,5 m, com 212,5 m² e pé direito de 2,7 m, representado na Figura 8. As características construtivas foram utilizadas de acordo com estudos anteriores (SANTANA, 2006), sendo as paredes constituídas de tijolos cerâmicos com reboco em ambas as faces e, a cobertura composta por telhas de fibrocimento e laje de concreto (Tabela 3). As simulações foram realizadas apenas para uma sala do edifício, considerando as demais paredes (com exceção da parede em que se encontra a abertura), cobertura e piso como adiabáticos para as simulações de condicionamento de ar, de modo a facilitar a análise da influência de cada fator relacionado à abertura, como tipologias de vidros e sombreamento, permitindo, assim, ser analisado a influência desses no consumo de energia elétrica.

Figura 8 - Planta baixa do pavimento tipo do edifício de escritório representativo



Fonte: (DIDONÉ; WAGNER; PEREIRA, 2012).

Tabela 3 – Características físicas dos fechamentos opacos

Transmitância Térmica [W/(m ² K)]	Paredes	2,47
	Cobertura	2,42
Capacidade Térmica [kJ/(m ² .K)]	Paredes	200
	Cobertura	187
Absortância	Paredes	0,65
	Cobertura	0,70

Fonte: (adaptado de SANTANA, 2006).

As bibliografias de Santana (2006) e, conseqüentemente de Didoné, Wagner e Pereira (2012), consideraram como densidade de carga interna valores adotados da pesquisa *in loco* e comparados com valores utilizados em trabalhos similares. O total de carga interna, dado em W/m², obtido dos levantamentos *in loco* e dos monitoramentos dos equipamentos é resultado da quantidade de densidade de carga de equipamentos (W/m²), de potência de iluminação (W/m²) e, da quantidade de pessoas (pessoas/m²). Para a quantificação da densidade de pessoas, é levado em conta a taxa metabólica de acordo com a atividade desempenhada. Considerando que a taxa de calor dissipada por pessoas em atividades leves, em escritórios, é de 75 W/pessoa para calor latente e 55 W/pessoa de calor sensível, tem-se a liberação total de calor de 130 W/pessoa no ambiente. Com a ocupação de 14,7 m²/pessoa (DIDONÉ, WAGNER E PEREIRA, 2014), a carga térmica devida às pessoas é de 8,84 W/m², com ocupação das 8h às 18h.

Para o padrão de uso de equipamentos, foram considerados os equipamentos encontrados com mais frequência nesses edifícios. Os equipamentos mais comuns foram aparelhos de ar condicionado, cafeteiras, computadores, lâmpadas, geladeiras, impressoras, ventiladores, filtro d'água. De acordo com os estudos de Santana (2006), reiterados por Didoné, Wagner e Pereira (2014), a densidade de carga média de equipamentos foi de 9,7 W/m². De forma a fornecer a iluminância de 500 lux foram adotadas 6 lâmpadas LED de potência de 25,7 W, totalizando 154,2 W, com densidade de potência de 4,74 W/m². O sistema de ar condicionado é composto de um *split*, com coeficiente de performance (COP) de 3,28 W/W para resfriamento e 3,55 W/W para aquecimento e *setpoint* para aquecimento de 20,5 °C e de 23,5 °C para resfriamento (BRASIL, 2012; PACHECO, 2006).

Para os modelos, foram variadas quatro tipologias de vidros escolhidas de acordo com o Anexo V da Portaria INMETRO N°50 (INMETRO, 2013) e com a pesquisa de

Felippe (2016). As tipologias e características de Transmitância Térmica (U), Fator de Calor Solar (FS), Transmissão de Luz Visível (TV) e índice de seletividade do vidro (IS) estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Característica dos vidros de controle solar selecionados

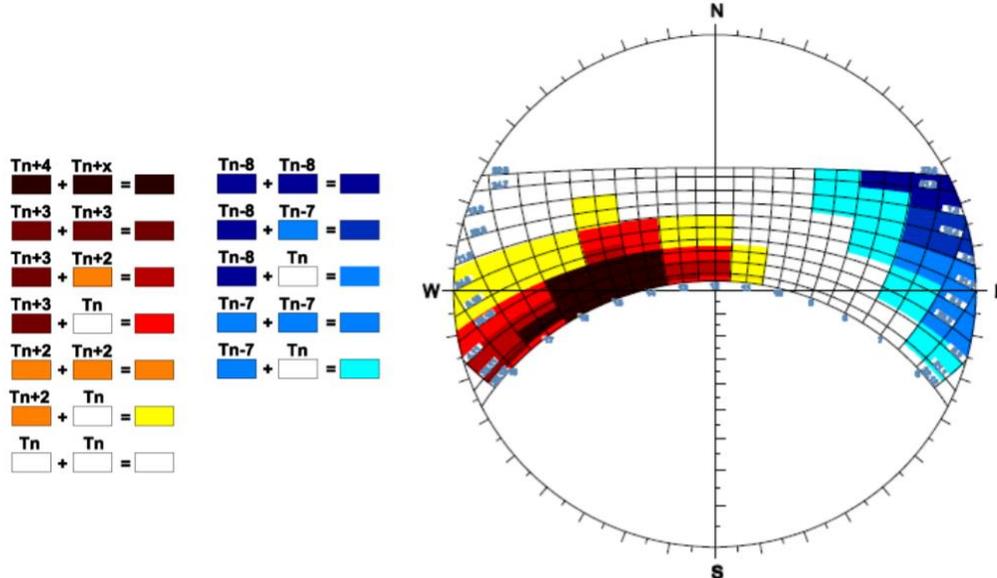
Vidro	Vidro de controle solar	U (W/m²K)	FS	TV	IS (TV/FS)
1	Simples Singlepane (SP)	5,82	0,82	0,88	1,07
2	Cebrace 114 (PN)	5,70	0,27	0,13	0,48
3	Guardian Light Blue 52 (GB)	5,60	0,58	0,52	0,90
4	Cebrace 174 (SKN)	3,23	0,43	0,76	1,76

Fonte: (adaptado de FELIPPE, 2016; INMETRO, 2013).

Em relação as tipologias de sombreamento, foram adotados brises horizontais, para a orientação norte, e brises verticais, para a orientação oeste. As orientações leste e sul não necessitam de sombreamento, conforme a carta solar de Santa Maria – Rio Grande do Sul, disponível no Anexo I do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012).

Para as proteções solares, foram utilizadas duas tipologias, uma para a orientação norte e outra para a orientação oeste. As tipologias foram dimensionadas de acordo com as temperaturas críticas das cartas solares da Zona Bioclimática 2, disponibilizadas no Anexo I do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012) Figura 9. Segundo o método predisposto pelo RTQ-R, nas zonas bioclimáticas 1 e 2, não deve haver proteção para valores inferiores a Tn-7, além disso, as proteções solares não são necessárias quando a necessidade de sombreamento se der por menos de dois meses do ano ou duas horas do dia e após as 17h00.

Figura 9 - Temperaturas críticas e carta solar de Santa Maria - RS



O regulamento ainda cita que deve ser feita a proteção solar quando houver incidência solar em horários em que as temperaturas sejam superiores a $Tn+3$ tanto para aberturas pequenas (aberturas com área menor que 25% da área do piso) quanto para aberturas grandes (aberturas com área maior que 25% da área do piso). Temperaturas maiores que as da faixa de proteção devem sempre ser protegidas ($Tn+4$, $Tn+5$,...).

As dimensões dos cortes dos dispositivos de sombreamento estão representados na Figura 10. A Figura 12 apresenta a vista em planta das três aberturas com sombreamentos verticais e horizontais (orientações leste e oeste). A Figura 11 apresenta a vista frontal para as aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento verticais e horizontais (orientações leste e oeste). A Figura 13 apresenta a vista em corte para as aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento horizontais (orientação norte). A Figura 14 representa a vista frontal das aberturas de 40%, 50% e 60% para dispositivos de sombreamento horizontal (orientação norte). A **Figura 15** mostra as vistas em planta das aberturas 40%, 50% e 60% para dispositivos de sombreamento horizontal (orientação norte). Já a Figura 16 e a Figura 17, representam, respectivamente, as máscaras de sombreamento para a orientação norte (parte hachurada) e orientações oeste e leste (parte hachurada).

Figura 10 – Vista em corte das aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação oeste e leste (verticais e horizontal).

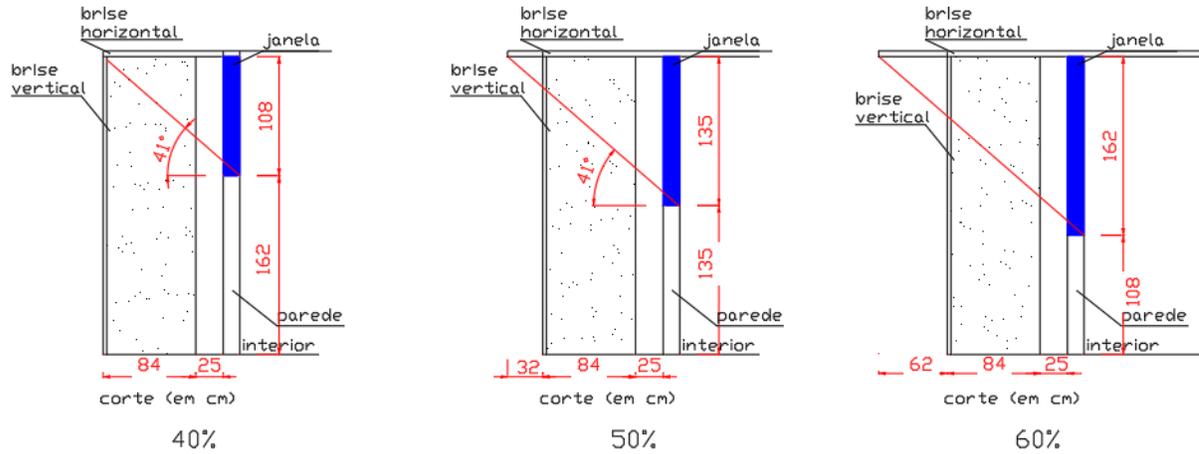


Figura 11 – Vista frontal das aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação oeste e leste (verticais e horizontal).

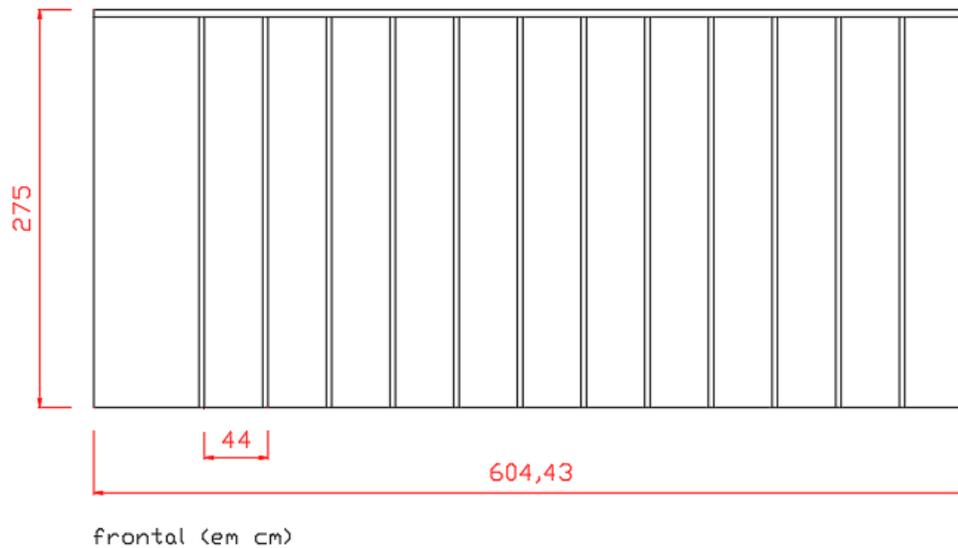


Figura 12 – Vista em planta das aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação oeste e leste (verticais e horizontal).

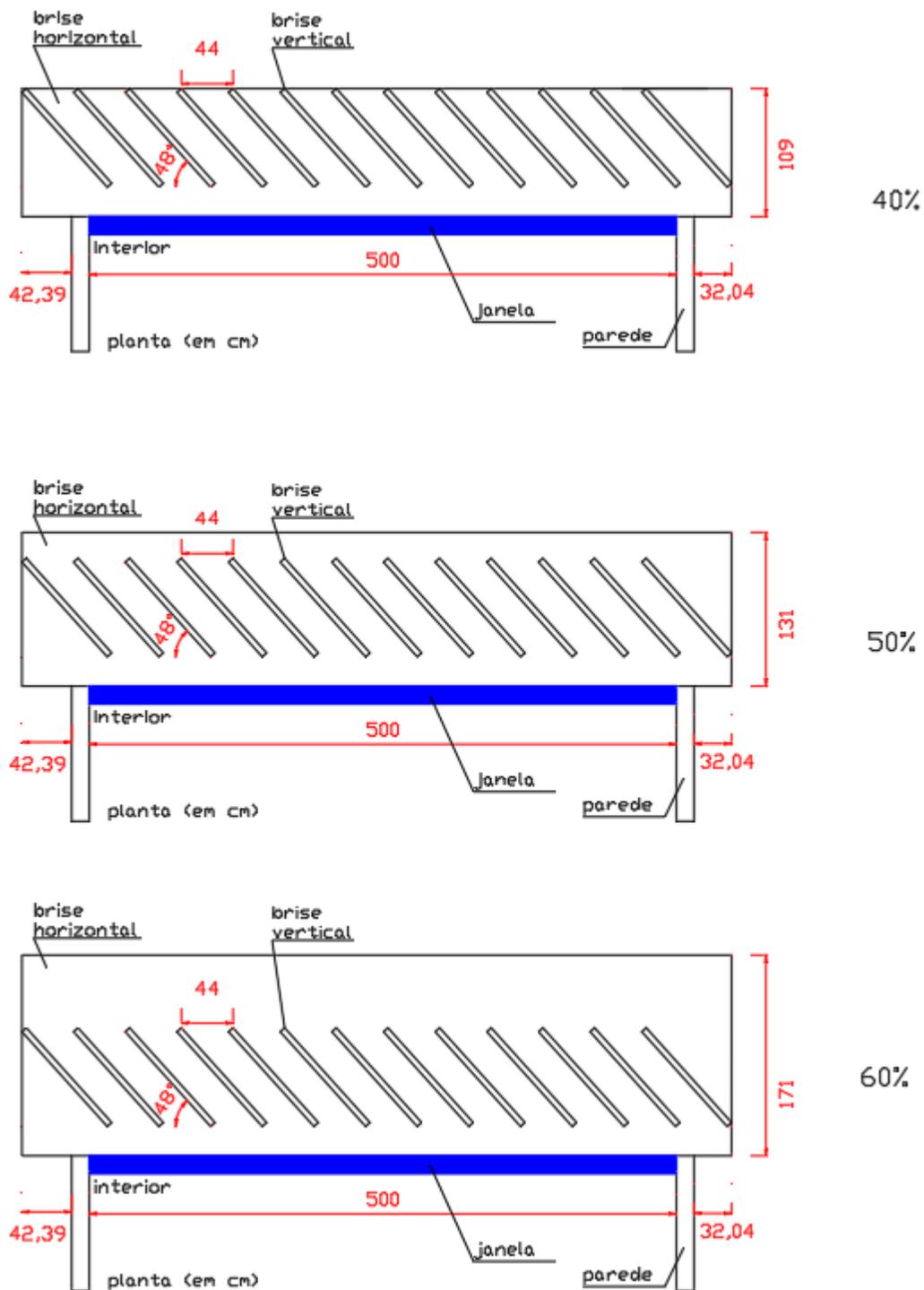


Figura 13 – Vista em corte para as aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação norte (horizontais).

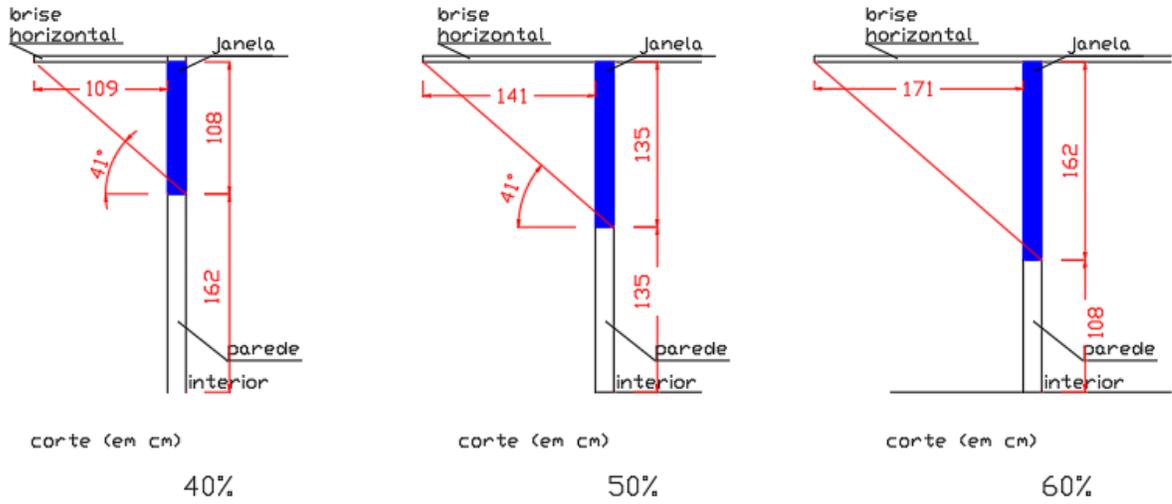


Figura 14 - Vista frontal das aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação norte (horizontais).

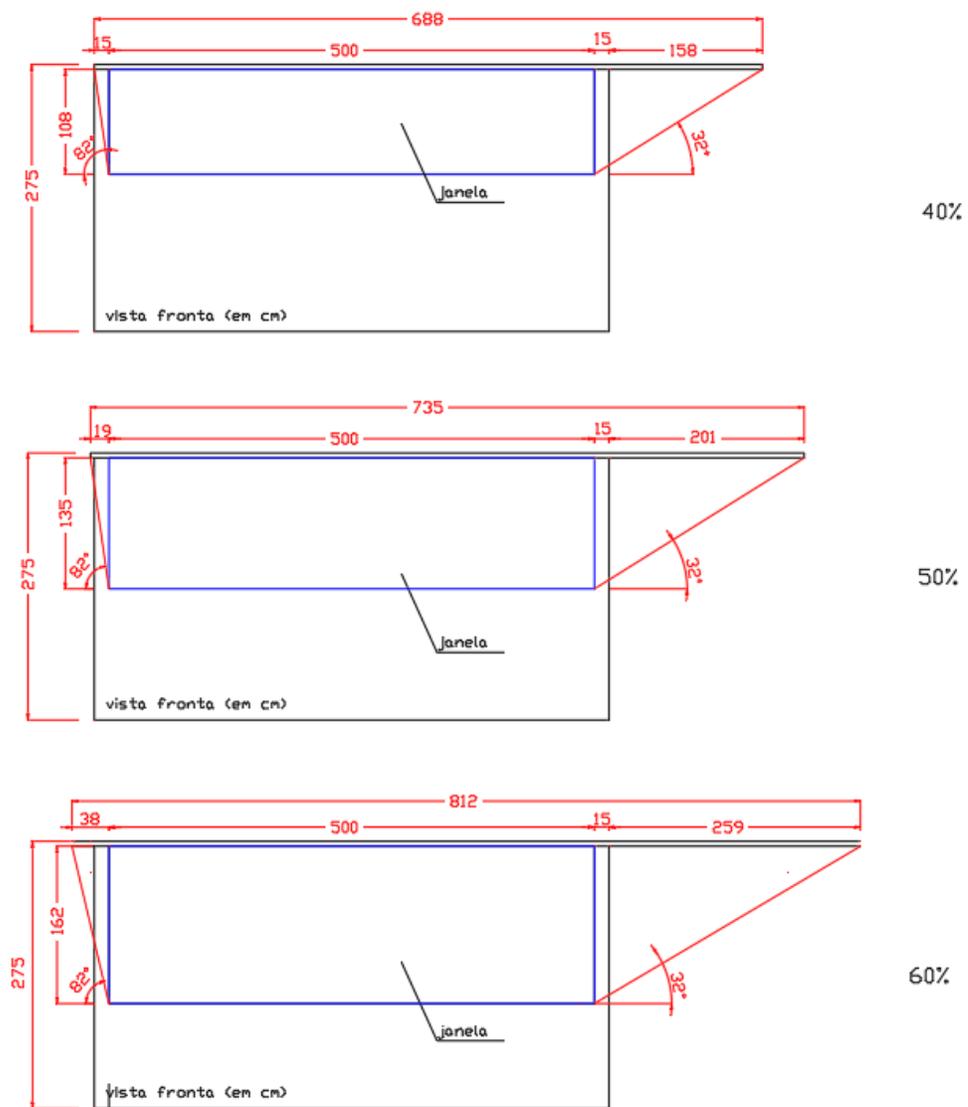


Figura 15 - Vista em planta das aberturas de 40%, 50% e 60% com dispositivos de sombreamento para a orientação norte (horizontais).

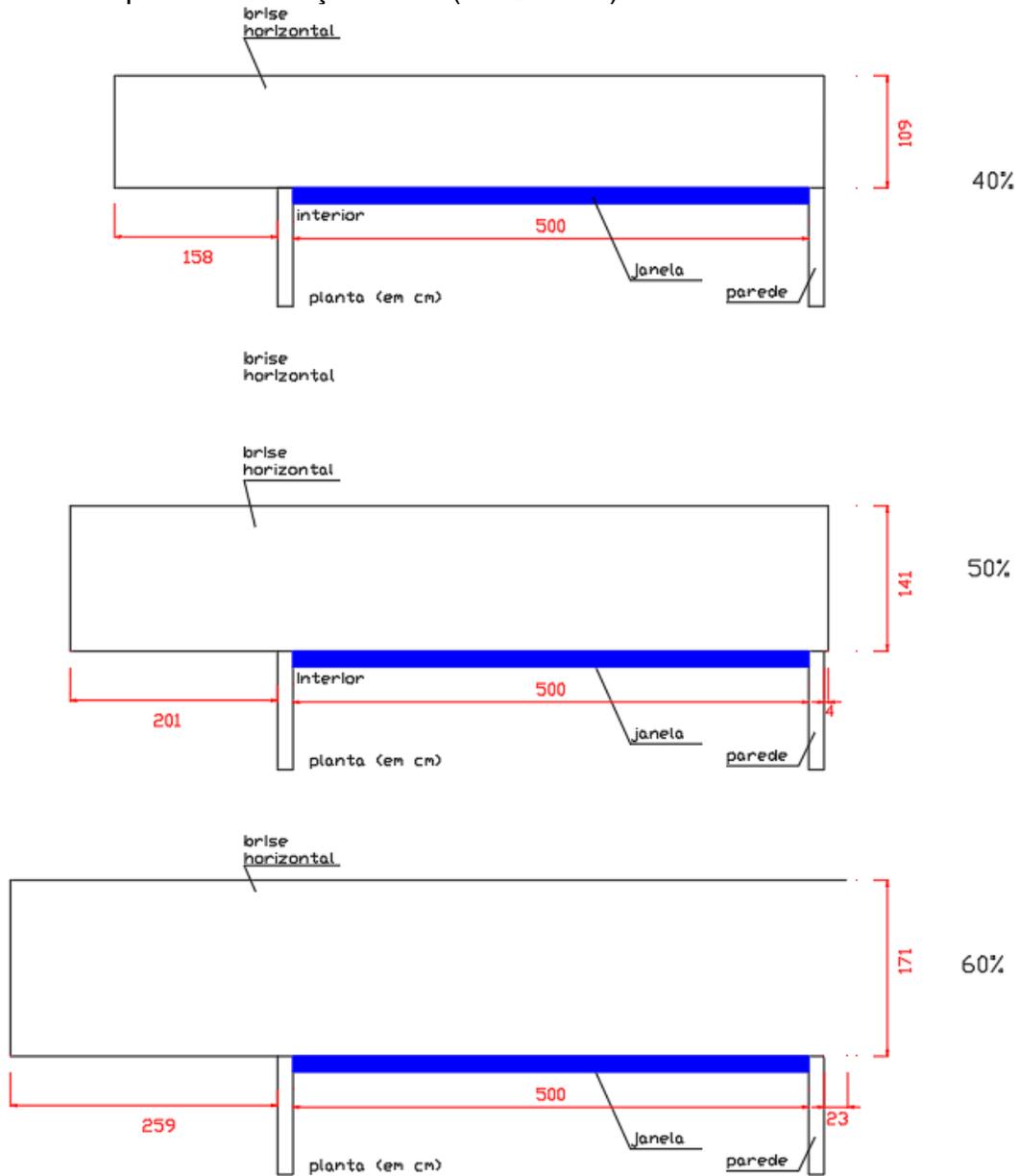


Figura 16 - Máscara de sombreamento para norte

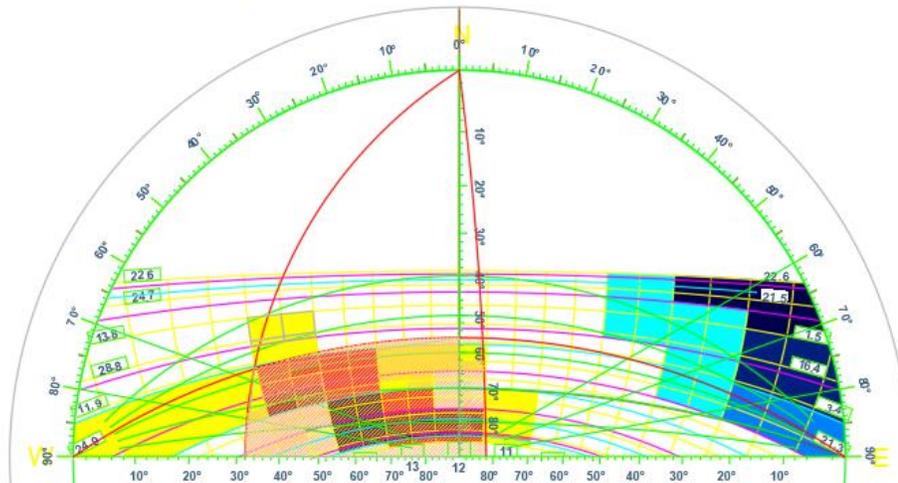
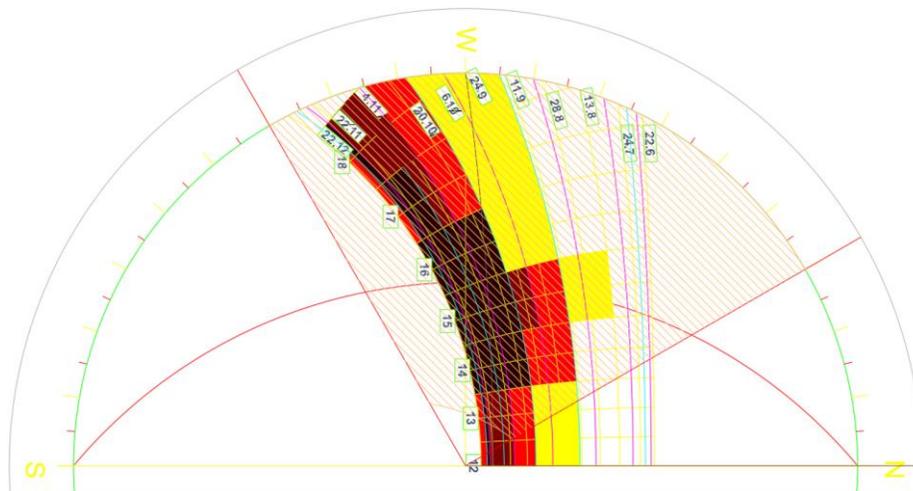


Figura 17 - Máscara de sombreamento para oeste



3.2 SIMULAÇÕES DE PERCENTUAL DE ABERTURA NA FACHADA

Após a definição dos modelos a serem simulados, ocorreu a segunda etapa, na qual foram realizadas as simulações por meio do programa computacional DesignBuilder, versão 6.1.3.008. Nesta etapa, o modelo definido na etapa anterior foi simulado de forma a determinar a influência de cada fator de forma isolada e ao final, em conjunto. O primeiro conjunto de simulações realizadas foi relativo à área de abertura, para assim, definir três porcentagens fixas para variar as tipologias de vidros e de sombreamento.

Num primeiro momento, foram simuladas diferentes porcentagens de abertura na fachada (0% a 100%, em incrementos de 10%, de acordo com método proposto por Ghisi e Tinker (2001), a fim de verificar para quais PAF a iluminância necessária de 500 lux era atingida (Figura 18), para as orientações norte, sul, leste e oeste, totalizando 44 simulações. Para essas simulações foi adotado o vidro SP, simples, com transmitância térmica de 5,82 W/m²K, fator solar de 0,82 e transmissão de luz visível de 0,88. A partir da definição de aberturas adequadas (40%, 50% e 60%), foi simulado o desempenho da iluminação natural variando-se tipologias de vidros e elementos de sombreamento. Após isso, o modelo foi simulado para a integração de iluminação natural e artificial. Por fim, foi levantado o consumo por condicionamento de ar, por meio da combinação de iluminação artificial e iluminação natural com ar condicionado. A ventilação natural não foi considerada nas simulações.

Para a quantificação da influência de cada fator, foram analisados individualmente e comparados os consumos para cada tipologia de vidro e para cada tipologia de proteção solar, por meio da elaboração de gráficos e tabelas no Excel.

Figura 18 - Percentual de abertura na fachada (PAF) está representado em azul



Fonte: (adaptado de GHISI e TINKER, 2001).

3.3 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL

Para as simulações de iluminação, foram adotados os algoritmos de simulação de iluminação natural do DesignBuilder, adaptados de Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006). Para isso, alguns desses parâmetros foram configurados. Nas simulações, foram considerados os parâmetros apresentados na Tabela 5 e explicados nos itens que

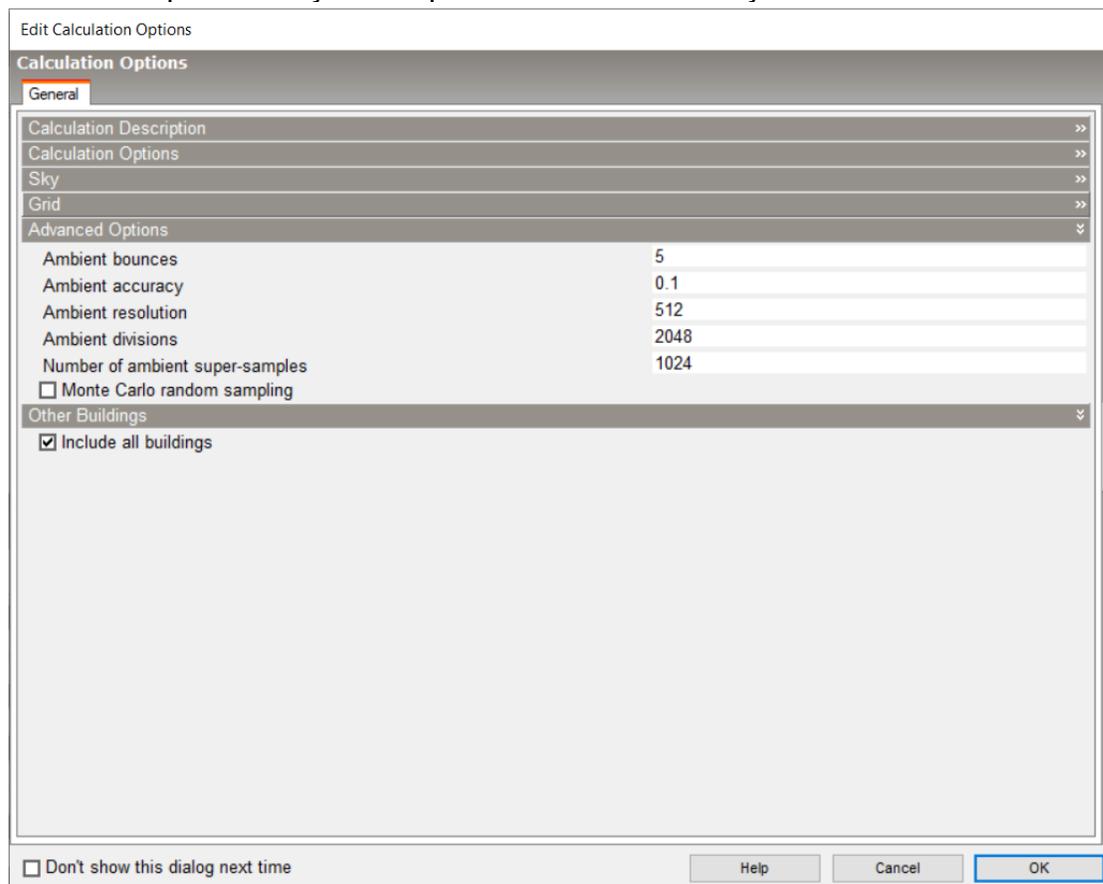
seguem. A Figura 19 apresenta a aba do programa de simulação DesignBuilder para a inserção dos parâmetros de iluminação natural.

Tabela 5 - Parâmetros inseridos na simulação do ambiente de iluminação

Interreflexão	Divisão do ambiente	Amostragem do ambiente	Resolução	Precisão	Fonte direta	Amostragem direta
5	2.048	1.024	512	0,1	0	0

Fonte: (adaptado de REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

Figura 19 - Aba para inserção dos parâmetros de iluminação natural



Fonte: DesignBuilder (2020).

3.3.1 Interreflexão

A interreflexão diz respeito ao número de interreflexões difusas que são calculadas para um raio de luz antes dele ser descartado nos cálculos. Ou seja, esse valor

representa a quantidade de vezes que um raio solar irá refletir e rebater nas superfícies internas do ambiente antes de não ser mais considerado nos cálculos de iluminação.

3.3.2 Divisão do ambiente e amostragem do ambiente

A divisão do ambiente determina o número de amostras de raios de luz que são emitidos por um ponto de uma superfície durante os cálculos de um ambiente. A amostragem do ambiente maior que zero determina o número de raios de luz adicionais que são enviados a áreas da amostra que apresentam variação de brilho.

3.3.3 Precisão e resolução

A combinação desses dois parâmetros com a dimensão máxima dos ambientes fornece influência direta na medida a respeito do quão bem a distribuição da luminosidade é calculada no ambiente.

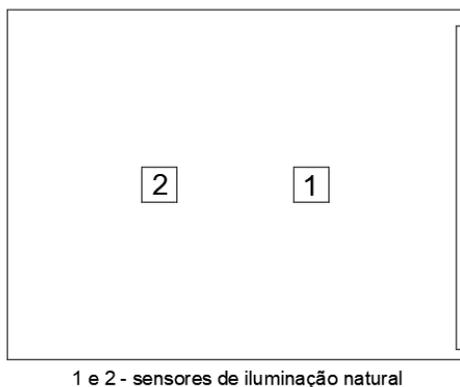
3.3.4 Fonte direta e amostragem direta

A fonte direta não tem representatividade caso os coeficientes de iluminação natural sejam calculados com o Daysim. Assim, independentemente do valor escolhido, essa variável é automaticamente considerada zero quando os cálculos de iluminação natural forem realizados pelos algoritmos do Daysim. Já a amostragem direta ao ser considerada igual a zero, leva em conta apenas um raio de luz enviado para cada fonte de luz.

Para as simulações de iluminação natural não é necessário considerar as propriedades termo físicas dos materiais empregados na envoltória, já que os cálculos de transferência de calor são realizados em outra etapa. Dessa forma, é necessário estipular as propriedades ópticas dos materiais constituintes. O ambiente foi dividido em relação as refletâncias internas das superfícies (no caso dos materiais opacos) e transmitância da luz visível (materiais transparentes). O teto foi considerado branco, com refletância de 70%, as paredes claras, com refletância de 70% e o piso médio, com refletância de 40%. Para as condições de céu, foi adotado o céu padrão da Comissão Internacional de Iluminação (CIE, 2014).

Para o sistema de controle de iluminação artificial, foram utilizados dois sensores de iluminação, conforme a metodologia de Ghisi e Tinker (2001), representados na Figura 20. Cada sensor é responsável por 50% da área de piso.

Figura 20 – Planta baixa representando a posição dos sensores de iluminação natural



As simulações considerando os quatro tipos de vidros foram feitas para as quatro orientações principais (norte, sul, leste, oeste), de forma a identificar a melhor tipologia, para cada área de abertura definida. Dessa forma, cada vidro foi simulado considerando:

- iluminação natural, para cada porcentagem de abertura (três no total) e para cada orientação solar (quatro no total); e
- iluminação natural e artificial, para cada porcentagem de abertura e para cada orientação solar.

Abaixo e as combinações de iluminação natural são mostradas na Tabela 6 e de iluminação natural integrada com artificial na Tabela 7.

Tabela 6 – Combinação para análise da influência do vidro na entrada de iluminação natural

Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
vidro PN	vidro SKN	vidro GB	vidro SP
sem proteção solar	sem proteção solar	sem proteção solar	sem proteção solar
sem AC	sem AC	sem AC	sem AC
sem iluminação artificial	sem iluminação artificial	sem iluminação artificial	sem iluminação artificial
40%, 50% e 60%			
Norte, Sul, Leste e Oeste			

Tabela 7 - Combinação para análise da influência do vidro no consumo de iluminação artificial com iluminação natural

Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8
vidro PN	vidro SKN	vidro GB	vidro SP
sem proteção solar	sem proteção solar	sem proteção solar	sem proteção solar
sem AC	sem AC	sem AC	sem AC
com iluminação artificial	com iluminação artificial	com iluminação artificial	com iluminação artificial
40%, 50% e 60%			
Norte, Sul, Leste e Oeste			

As tipologias de sombreamento também foram simuladas combinando cada percentual de abertura e cada tipologia de vidro adotada anteriormente, para:

- iluminação natural, para cada porcentagem de abertura (três no total) e para norte, leste e oeste; e
- iluminação natural e artificial, para cada porcentagem de abertura e para norte, leste e oeste.

As combinações dos casos de proteções solares estão representadas na Tabela 8 e na Tabela 9.

Tabela 8 - Combinação para análise da influência das proteções solares na entrada de iluminação natural

Caso 9	Caso 10	Caso 11	Caso 12
vidro PN	vidro SKN	vidro GB	vidro SP
sem AC	sem AC	sem AC	sem AC
sem iluminação artificial	sem iluminação artificial	sem iluminação artificial	sem iluminação artificial
40%, 50% e 60%			
Norte, Leste e Oeste			

Tabela 9 - Combinação para análise da influência das proteções solares no consumo de iluminação artificial com natural

Caso 13	Caso 14	Caso 15	Caso 16
vidro PN	vidro SKN	vidro GB	vidro SP
sem AC	sem AC	sem AC	sem AC
com iluminação artificial	com iluminação artificial	com iluminação artificial	com iluminação artificial
40%, 50% e 60%			
Norte, Leste e Oeste			

3.4 SIMULAÇÕES DO AMBIENTE TÉRMICO

Para as simulações que integram a iluminação natural e artificial, foram consideradas as densidades de iluminação artificial descritas no item 3.1, bem como a densidade de carga de ar condicionado.

Nas simulações térmicas, de modo a analisar somente a influência da fachada que possui a abertura externa, as demais fachadas, cobertura e piso foram consideradas adiabáticas, assim pode-se ter os resultados de consumo de ar condicionado acarretados pela carga térmica advinda principalmente pela janela e pela parede que a contém.

As simulações considerando os quatro tipos de vidros foram feitas para as quatro orientações principais (norte, sul, leste, oeste), de forma a identificar a influência dos vidros no consumo por condicionamento artificial. Dessa forma, cada vidro foi simulado considerando iluminação natural e artificial e condicionamento de ar, para cada porcentagem de abertura e para cada orientação solar.

As combinações dos casos de vidros para condicionamento artificial estão representadas na Tabela 10. Já a Tabela 11 apresenta as combinações de vidros e dispositivos de sombreamento para o consumo de condicionamento artificial.

Tabela 10 - Combinação para análise da influência do vidro no consumo de ar condicionado com iluminação artificial e iluminação natural

Caso 17	Caso 18	Caso 19	Caso 20
vidro PN	vidro SKN	vidro GB	vidro SP
sem proteção solar	sem proteção solar	sem proteção solar	sem proteção solar
com iluminação artificial	com iluminação artificial	com iluminação artificial	com iluminação artificial
com AC	com AC	com AC	com AC
40%, 50% e 60%			
Norte, Sul, Leste e Oeste			

Tabela 11 - Combinação para análise da influência do vidro no consumo de ar condicionado com iluminação artificial e iluminação natural

Caso 21	Caso 22	Caso 23	Caso 24
vidro PN	vidro SKN	vidro GB	vidro SP
com proteção solar	com proteção solar	com proteção solar	com proteção solar
com iluminação artificial	com iluminação artificial	com iluminação artificial	com iluminação artificial
com AC	com AC	com AC	com AC
40%, 50% e 60%			
Norte, Leste e Oeste			

A Tabela 12 a seguir apresenta as combinações de simulações propostas para os casos de iluminação natural, iluminação natural integrada com artificial e, iluminação natural integrada com artificial e condicionamento de ar. O total de simulações de cada está representado na última coluna da tabela e, o total geral de simulações é a somatória desses valores com as simulações de PAF (44 simulações), resultando em 380 simulações.

Tabela 12 - Tabela geral de simulações

Tipo de simulação	Parâmetro	PAF	Tipologia de vidro	Orientação solar	Resultado	Nº de simulações
ILUM. NATURAL	VIDROS	40%	SP	NORTE	(UDI) (E) (sDA)	96
		50%	PN	SUL		
		60%	GB	LESTE		
			SKN	OESTE		
	BRISES	40%	SP	NORTE	(UDI) (E) (sDA)	72
		50%	PN	LESTE		
		60%	GB	OESTE		
			SKN			
ILUM. NATURAL + ARTIFICIAL	VIDROS	40%	SP	NORTE	CONSUMO	48
		50%	PN	SUL		
		60%	GB	LESTE		
			SKN	OESTE		
	BRISES	40%	SP	NORTE	CONSUMO	36
		50%	PN	LESTE		
		60%	GB	OESTE		
			SKN			
ILUM. NATURAL + ARTIFICIAL + COND. ARTIFICIAL	VIDROS	40%	SP	NORTE	CONSUMO	48
		50%	PN	SUL		
		60%	GB	LESTE		
			SKN	OESTE		
	BRISES	40%	SP	NORTE	CONSUMO	36
		50%	PN	LESTE		
		60%	GB	OESTE		
			SKN			

4 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos nas simulações de iluminação natural e artificial e simulações de condicionamento artificial integradas à iluminação.

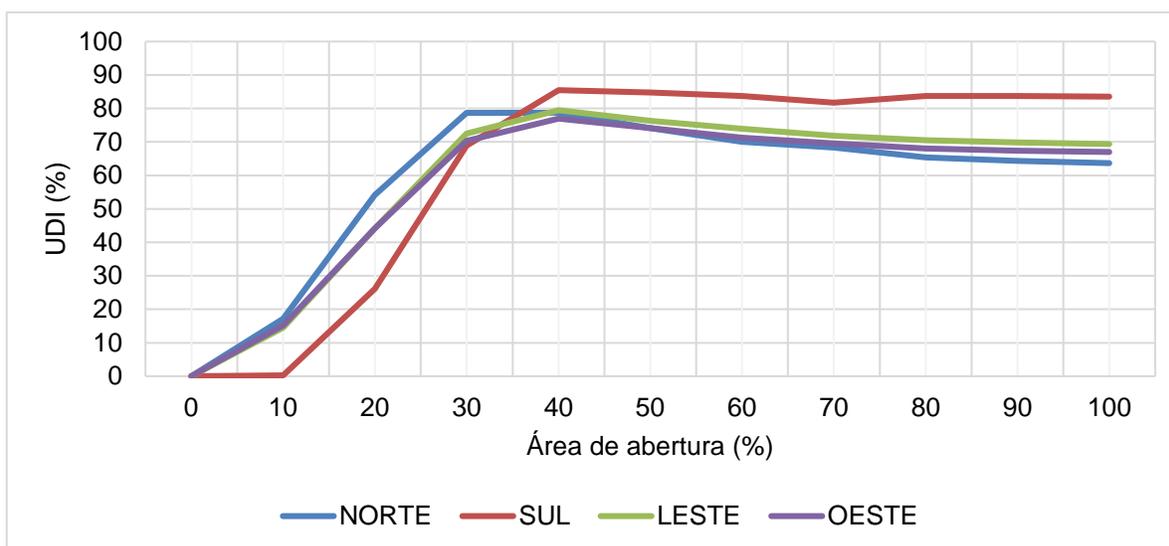
4.1 PERCENTUAL DE ABERTURA NA FACHADA (PAF)

Para que fosse possível adotar um valor adequado de abertura de janelas para a realização das análises de iluminação natural, iluminação natural com integração de artificial e térmica integrada a iluminação natural e artificial, foram realizadas análises de percentuais de abertura para cada orientação. Para essas análises, foi considerado somente os resultados de iluminação natural da sala de escritório.

Dessa maneira, como já descrito, a sala foi simulada para as quatro orientações principais, variando a abertura de 0% a 100%, em incrementos de 10%. O objetivo dessa análise foi determinar tamanhos apropriados de abertura, de forma a garantir vista para o exterior, cumprir o requisito de área mínima de abertura em relação a área de piso, além de garantir níveis adequados de iluminação natural sem geração de ofuscamento aos usuários.

Visto que a disposição da janela na parede influencia o consumo de energia elétrica para condicionamento artificial e a distribuição da iluminação natural, é importante analisar o tamanho e posição das aberturas na fachada. Autores como Koohsari, Fayaz e Kari (2015) analisaram a influência de diferentes posições e tamanhos de janela no consumo integrado de condicionamento de ar e iluminação artificial. Os autores concluíram que janelas mais largas podem influenciar em até 20% no consumo de energia por iluminação, no consumo por resfriamento em até 20% e, em até 7% no aquecimento. Ao se considerar a posição da janela em relação ao peitoril, quanto mais alta for a janela menor serão os consumos para iluminação artificial e resfriamento artificial. A Figura 21 mostra os níveis de iluminância em relação as aberturas simuladas.

Figura 21 - Iluminâncias úteis em relação a área de abertura



Como representado na figura anterior, aberturas de até 30% permitem valores menores de UDI por permitirem menor entrada de luz, aberturas acima de 30% começam a obter níveis de UDI superiores e, a partir de 80% de PAF, os níveis de UDI começam a diminuir, já que os níveis de iluminância se tornam superiores a 2.000 lux, considerando que a largura seja fixa para todas as aberturas simuladas. De acordo com Cavaleri, Cunha e Gonçalves (2018), inicialmente um UDI de 75% foi adotado como critério mínimo para a porcentagem de horas do ano nas quais os níveis de iluminância se encontram dentro da faixa de 100 lux a 2.000 lux, entretanto, os resultados indicaram dificuldade de se atingir 75% de UDI na maior parte dos casos simulados, dessa forma, para este trabalho, o critério de UDI foi alterado para valores acima de 70% para todas as orientações (norte, sul, leste e oeste).

A Tabela 13 mostra os valores de iluminâncias úteis para cada porcentagem de abertura simulada. A partir desses resultados, foram adotadas três áreas de abertura (40%, 50% e 60%) tidas como adequadas, considerando o critério de no mínimo 70% de UDI, com base na pesquisa de Cavaleri, Cunha e Gonçalves (2018). Os valores marcados em vermelho indicam que os níveis de UDI não atingiram o mínimo de 70% de UDI para as orientações solares (norte, sul, leste e oeste). A Tabela 14 mostra as dimensões das aberturas de 40%, 50% e 60%.

Tabela 13 - Iluminâncias úteis (UDI) em relação a área de abertura (%)

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
NORTE	0,00	17,18	54,19	78,72	78,73	74,11	70,08	68,29	65,37	64,32	63,65
SUL	0,00	0,28	26,16	68,92	85,48	84,82	83,77	81,74	83,74	83,70	83,58
LESTE	0,00	14,48	44,23	72,49	79,49	76,34	73,93	71,82	70,56	69,85	69,36
OESTE	0,00	15,19	44,16	70,36	76,98	74,10	71,32	69,59	68,02	67,37	66,98

Tabela 14 - Dimensões das aberturas adotadas em metros

Dimensões	PAF		
	40%	50%	60%
Altura (m)	1,08	1,35	1,62
Largura (m)	5,00	5,00	5,00
Peitoril (m)	1,62	1,35	1,08

4.2 ILUMINAÇÃO NATURAL

A partir das aberturas de 40%, 50% e 60%, determinadas acima, foram realizadas as simulações de luz natural, para as orientações solares norte, leste, oeste e sul e para os vidros CebracePN (PN), CebraceSKN (SKN), GuardianBlue (GB) e SinglePane (SP), sem dispositivos de sombreamento e para as aberturas de 40%, 50% e 60%, tipologias de vidros CebracePN, CebraceSKN, GuardianBlue e SinglePane e orientações norte, leste e oeste. Os resultados da influência dos vidros nos níveis de iluminância (E), iluminâncias úteis (UDI) e autonomia de luz (sDA) são descritos e analisados abaixo.

4.2.1 Influência dos vidros na iluminância útil (UDI) e nos níveis de iluminância (E)

Para os percentuais de abertura de 40%, 50% e 60%, determinados anteriormente, foram simuladas as tipologias de vidros PN, SKN, GB e SP para as orientações norte, sul, leste e oeste. Os resultados dos níveis de iluminâncias úteis (UDI) para as aberturas em cada orientação estão representados na Tabela 15.

Tabela 15 - Níveis de iluminâncias úteis (UDI)

Tipologias de vidro	Orientações	UDI					
		PAF					
		40%		50%		60%	
		Área de piso (m ²)	UDI (%)	Área de piso (m ²)	UDI (%)	Área de piso (m ²)	UDI (%)
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	17,81	54,42	21,40	65,38	23,10	70,58
	Sul	12,84	39,23	15,23	46,54	17,81	54,42
	Leste	13,91	42,50	17,00	51,92	18,76	57,31
	Oeste	15,67	47,88	18,95	57,88	20,83	63,65
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	30,15	92,12	26,75	81,73	24,36	74,42
	Sul	32,73	100,00	29,58	90,38	29,84	91,15
	Leste	32,73	100,00	31,72	96,92	28,20	86,15
	Oeste	32,73	100,00	29,58	90,38	26,63	81,35
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	32,73	100,00	31,16	100,00	28,26	86,35
	Sul	32,73	100,00	32,73	100,00	32,73	100,00
	Leste	32,73	100,00	32,73	100,00	32,73	100,00
	Oeste	32,73	100,00	32,73	100,00	31,16	95,19
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	28,45	86,92	25,24	77,12	22,79	69,62
	Sul	32,73	100,00	31,09	95,00	27,70	84,62
	Leste	32,73	100,00	29,33	89,62	26,37	80,58
	Oeste	32,04	97,88	27,70	84,62	25,11	76,73

Os resultados da anterior mostram que de acordo com a tipologia de vidro, ocorrem maiores ou menores níveis de iluminância útil no modelo. Vidros como o PN, que possuem o coeficiente de transmissão de luz visível (TV) mais baixo, de 0,13, resultam em menos porcentagens de horas do ano que atingem níveis de iluminância úteis para o ambiente, somente com iluminação natural. Além disso, por possuir um FS de 0,27, o vidro PN pode ser tido como o mais escuro dos vidros simulados. Diante disso, aberturas maiores possibilitam um pouco mais de entrada de luz solar, o que resulta em maiores níveis de UDI, do que aberturas menores e menos probabilidade de gerar ofuscamento. Essas análises podem ser verificadas de forma visual nos mapas de UDI, em função da tipologia de vidro, representados pela Figura 22.

Todavia, o contrário ocorre para vidros que permitem maior entrada de luz solar, ou seja, vidros com maior TV, como o SP e o SKN, os quais geram ofuscamento para

aberturas maiores. Ou seja, esses vidros têm melhor desempenho de UDI para aberturas menores.

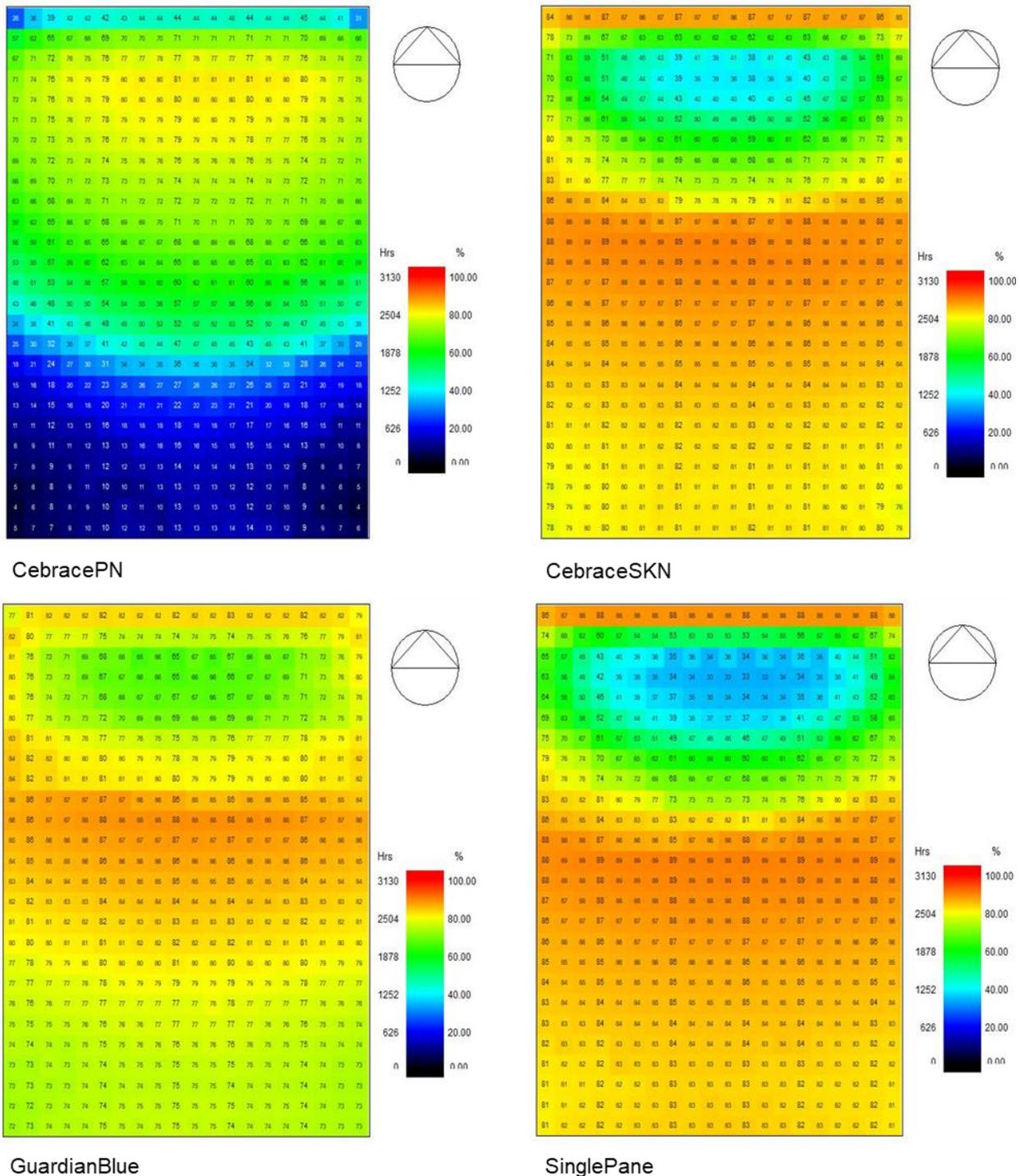
Considerando as orientações solares, a orientação sul é a que resultou em maiores níveis de UDI para todas as aberturas e tipologias de vidros simuladas, com exceção do vidro PN, que teve maior UDI para a orientação norte. Essa tipologia de vidro possui o menor valor de FS, que representa a cor do vidro, ou seja, quanto menor esse valor mais escuro é o vidro. Entretanto, por mais que o FS do vidro SP seja o maior de todas as tipologias, esse vidro não resultou nos melhores resultados de nível de UDI, já que por possibilitar maior entrada de luz solar, também pode gerar maior ofuscamento no interior do modelo, fazendo com que menos horas do ano fiquem na faixa de iluminâncias úteis (100 lux a 2.000 lux).

Um exemplo disso pode ser verificado no vidro SP. Para as orientações sul e leste e abertura de 60%, o níveis de UDI ficaram entre 80% e 84% das horas do ano. Já para o vidro GB, com FS e TV menores, os níveis de UDI resultaram em 100% das horas do ano dentro da faixa de iluminâncias úteis, para ambas orientações. A Figura 23 representa os mapas de UDI para as quatro orientações solares, com abertura de 40% e vidro SP.

Ao se considerar a influência da área de abertura nos níveis de UDI, para os vidros SKN, SP e GB, quanto maior a abertura menor os valores de UDI, já que todas essas tipologias permitem boa entrada de luz solar, de acordo com seus valores de TV e FS. Os mapas de UDI para as três porcentagens de abertura simuladas, com orientação solar norte e vidro SP estão representados na Figura 24.

A Figura 22 representa os mapas de UDI para a abertura de 40% e orientação norte, para cada um dos quatro vidros simulados. Em relação a esse mapa de UDI, é notável maiores valores de UDI próximos a janela, com exceção à primeira linha de pontos, que não recebem incidência solar em virtude do alto peitoril da janela. Nota-se também que, conforme se avança para o interior da sala (e se afasta da janela), os níveis de UDI reduzem.

Figura 22 - Mapas de UDI para abertura 40% e orientação norte



Ao se analisar a distribuição do UDI na Figura 22, com orientação fixa ao norte, percebe-se que os resultados referentes ao vidro PN caracterizam uma distribuição menos uniforme das horas do ano, cujos valores de iluminância ficam na faixa útil. Já

que, para essa tipologia de vidro, os valores próximos a janela possibilitam UDI entre 70 e 80%, ao se avançar para o interior da sala, o UDI cai de forma considerável, atingindo valores de 15% a 20%.

Em relação ao vidro SKN esses valores são mais distribuídos em relação ao PN. Os pontos próximos a janela resultam em valores menores de UDI se comparados aos valores encontrados no vidro PN. Isso se dá devido ao fato de que o vidro SKN possui TV de 0,76, ou seja, 76% dos raios solares que atingem a janela, acabam entrando no interior da sala, isso acarreta iluminância mais alta, que possivelmente pode indicar valores de ofuscamento, que ultrapassam o limite de 2.000 lux do UDI. Já, ao se considerar o avanço para o fundo da sala, os resultados indicam valores mais altos de UDI, ou seja, esses valores representam menor incidência de iluminância, com a entrada dos raios solares, possivelmente com mais valores dentro da faixa útil de UDI.

O mapa de UDI do vidro SP possui comportamento similar, entretanto ao se analisar os valores de FS e TV dos vidros SP e SKN, percebe-se maiores valores do primeiro. Dessa forma, há uma diferença pequena nos níveis de UDI próximos a janela que, para o vidro SP resultam em no mínimo 34% e para o SKN em 39%.

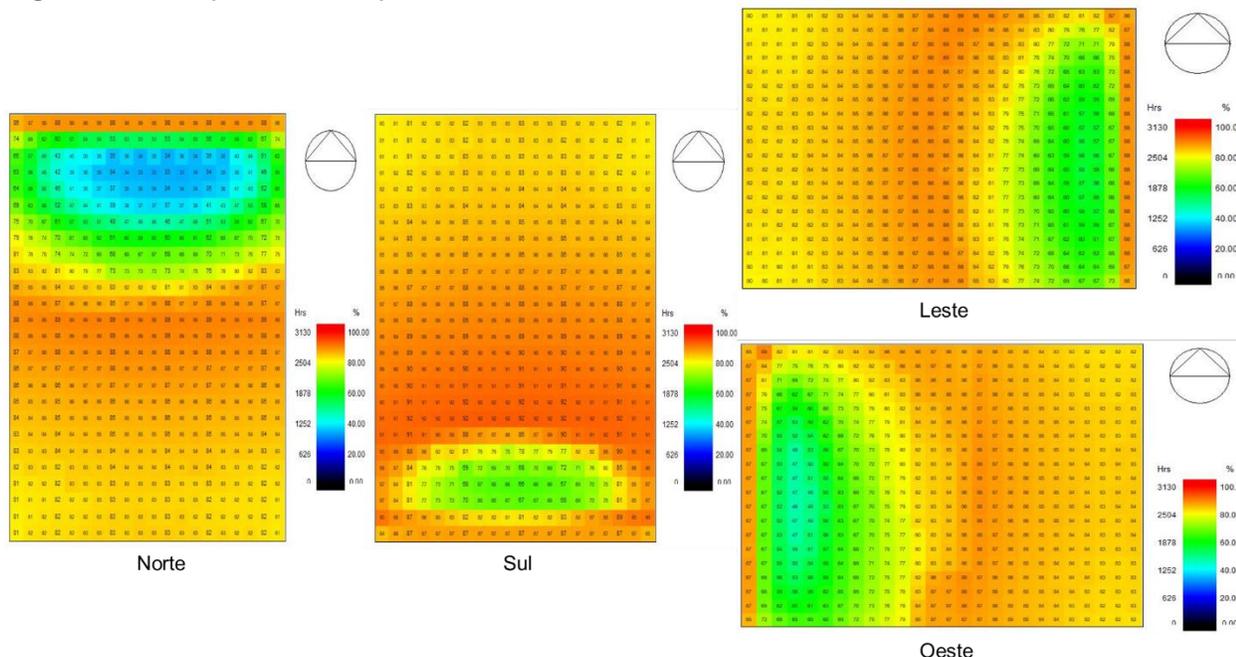
Em relação ao mapa de UDI para o vidro GB, percebe-se que o comportamento deste é similar aos dos vidros SP e SKN, já que os valores de TV dessas tipologias são próximos.

A Figura 23 representa os mapas de UDI com abertura de 40% para o vidro SP, de forma a analisar a influência das orientações solares na distribuição dos níveis úteis de iluminância.

Ao se analisar a influência das orientações solares nos níveis de UDI, nota-se que a orientação sul é a que possui valores mais altos na área da janela, em torno de 60% a 70% das horas do ano ficam na faixa útil de iluminância. Isso é justificado pela menor incidência de raios solares nessa orientação, em comparação com as demais, dessa forma, a menor entrada de luz natural possibilita menos ofuscamento, mas ainda assim possibilita o uso da iluminação natural.

As orientações leste e oeste, permitem maior entrada de luz solar, dessa forma, possibilitam a ocorrência de ofuscamento já que seus níveis de UDI são menores, principalmente na área próxima à janela.

Figura 23 - Mapas de UDI para abertura 40% e vidro SP

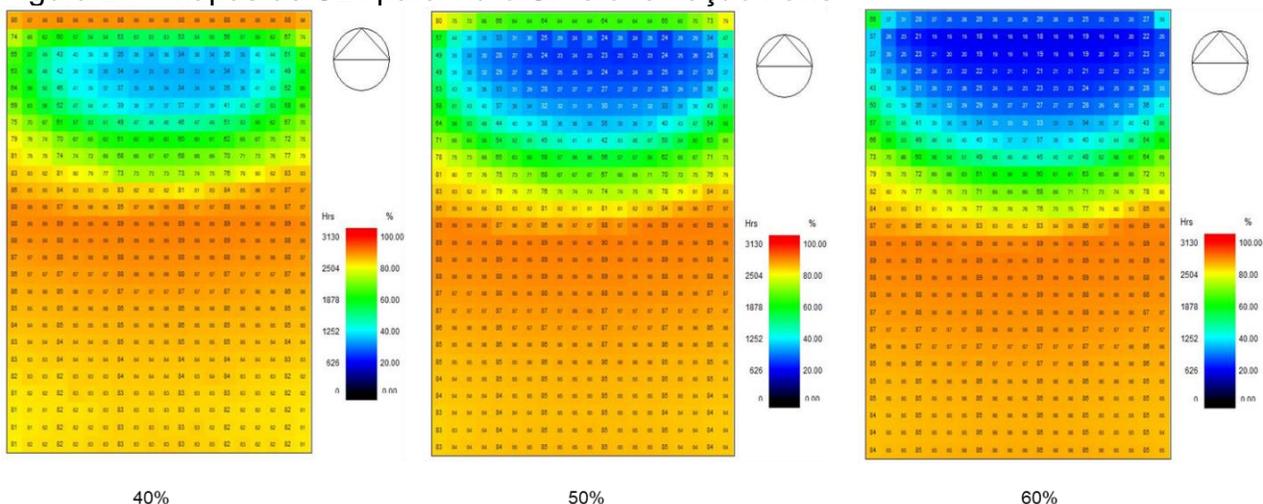


A Figura 24 apresenta os mapas de UDI das aberturas de 40%, 50% e 60%, para o vidro SP e orientação norte, de modo a comparar a influência do percentual de abertura na fachada (PAF) nos níveis de UDI.

Em relação a influência dos tamanhos das aberturas em relação aos níveis de UDI, nota-se que aberturas maiores provocam mais entrada de luz solar, conforme esperado, entretanto, essa entrada de luz solar pode acarretar ofuscamento no interior do ambiente. Isso é notável pela redução das porcentagens de horas ocupadas nas quais os níveis de lux ficam dentro da faixa útil.

Por exemplo, para a abertura de 40%, os níveis de UDI próximos a janela ficam em torno de 35% a 45%, já para a abertura de 50% esses valores caem para a margem de 25% a 35% e, por fim, para a abertura de 60% esses valores reduzem para 18% a 30% das horas ocupadas na faixa útil.

Figura 24 - Mapas de UDI para vidro SP e orientação norte



Os outros mapas com os resultados de UDI para as aberturas de 40%, 50% e 60% se encontram no Apêndice A. Resultados similares foram encontrados para os mapas de UDI das tipologias de vidro PN, SKN, GB e SinglePane, com orientações fixas em sul, leste e oeste. Para cada orientação fixa o vidro PN apresentou a distribuição menos uniforme dos níveis de UDI, enquanto as demais tipologias apresentaram distribuições similares, já que apresentam valores de TV mais próximos.

Destaca-se, entretanto, que, todas as tipologias de vidros resultaram em valores maiores de UDI para a orientação sul, já que esta orientação apresenta menor possibilidade de causar ofuscamento, já que permite menor entrada de luz solar, devido a trajetória do sol. Assim como os resultados da combinação das demais aberturas e tipologias de vidros, para aberturas maiores, todas as tipologias apresentaram redução de UDI com o aumento do PAF.

Em relação aos níveis de iluminância, em lux, atingidos no plano de trabalho, para as aberturas de 40%, 50% e 60% nas orientações solares norte, sul, leste e oeste, os resultados são apresentados na Tabela 16.

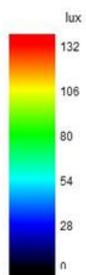
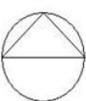
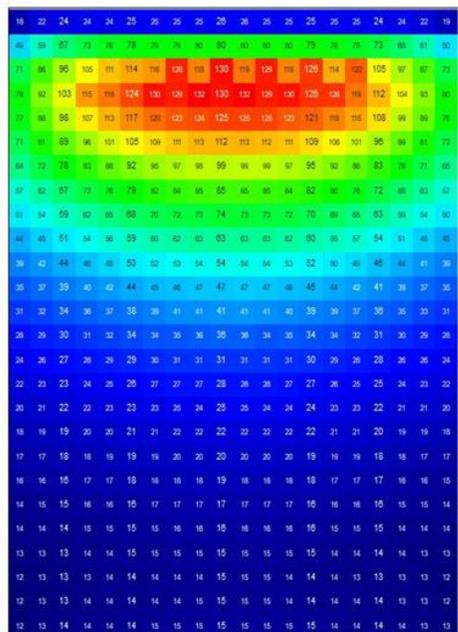
Tabela 16 - Níveis de iluminância mínima e máxima

Tipologias de vidro	Orientações	Níveis de iluminância mínima e máxima					
		PAF					
		40%		50%		60%	
		Ilum Min	Ilum Max	Ilum Min	Ilum Max	Ilum Min	Ilum Max
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	12,5	132,2	14,9	192,4	16,7	258,2
	Sul	12,4	130,6	14,9	185,0	16,7	257,1
	Leste	12,6	133,1	14,8	189,3	16,9	258,5
	Oeste	12,5	130,9	14,9	191,8	16,8	257,3
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	82,5	1088,7	97,2	1562,6	108,8	2213,7
	Sul	81,6	1057,1	97,2	1525,7	109,6	2146,8
	Leste	82,5	1092,3	97,2	1566,7	108,8	2216,1
	Oeste	81,5	1058,4	97,7	1530,5	109,5	2146,1
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	54,0	683,3	64,2	989,9	72,4	1353,0
	Sul	54,7	670,6	64,8	961,7	72,5	1348,4
	Leste	54,6	684,1	65,0	994,4	73,3	1388,2
	Oeste	55,1	670,7	65,1	962,4	73,0	1350,2
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	93,4	1283,3	113,8	1878,8	127,7	2674,0
	Sul	95,3	1264,2	113,9	1827,0	127,9	2576,1
	Leste	95,2	1327,7	113,3	1884,4	127,5	2691,8
	Oeste	95,4	1264,4	113,5	1838,2	127,8	2577,5

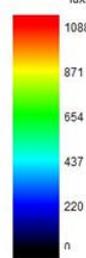
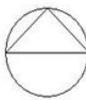
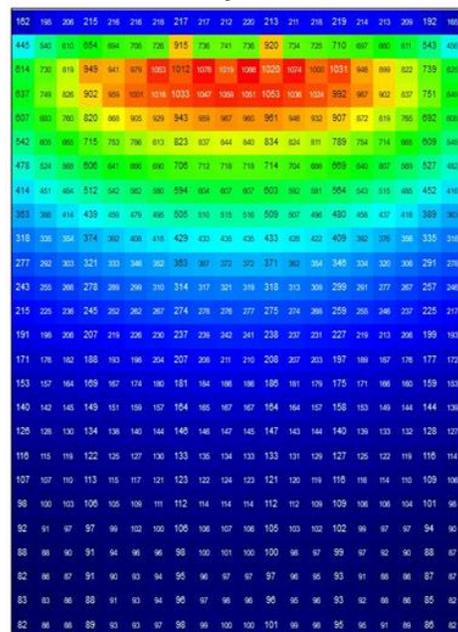
Quanto a tipologia de vidro, da mesma forma que vidros com maiores índices de TV e FS permitiram maiores valores de UDI, também permitiram maiores níveis de iluminância no plano de trabalho. Assim, o vidro SP, por possuir TV igual a 88% permitiu níveis máximos de até 2.691,80 lux para abertura de 60%. Enquanto o vidro PN permitiu no máximo 258,5 lux, para abertura de 60%. Os mapas de níveis de iluminância (E) em função das tipologias de vidro estão representados na Figura 25.

Nota-se que o vidro SP resulta em níveis de iluminância quase 10 vezes maiores que os níveis do vidro PN, para a orientação norte, abertura de 40%, com a diferença de TV de 0,88 para 0,13, respectivamente. Altan, Mohelnikova e Hofman (2015) afirmam que uma camada de isolamento térmico se sobrepondo às janelas e, em combinação com unidades de vidro triplo, poderiam diminuir o nível de luz do dia no interior estudado em 40%, ou seja, a tipologia do vidro influencia de forma significativa a entrada de luz no ambiente.

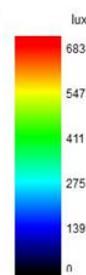
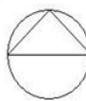
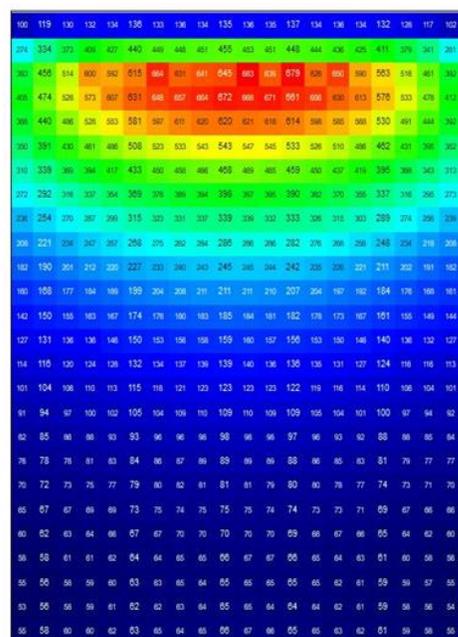
Figura 25 - Mapa de iluminâncias para abertura 40% e orientação norte



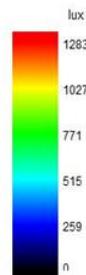
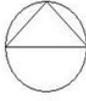
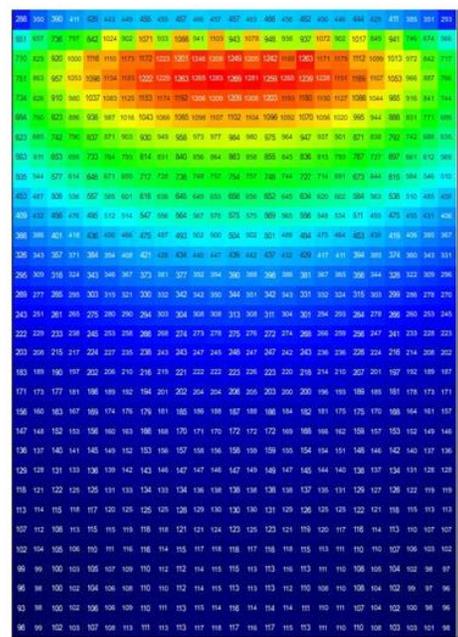
CebracePN



CebraceSKN



GuardianBlue



SinglePane

Em relação aos mapas de iluminância de cada orientação, nota-se a diferença baixa entre os níveis de lux de cada orientação, conforme a Figura 26. Com iluminância máxima para o vidro SP de 1.308 lux para leste, 1.283 lux para norte e 1.264 lux para oeste e sul.

Os mapas de iluminância das tipologias de vidros PN, SKN e GB, para as orientações norte, sul, leste e oeste, se encontram no Apêndice B. Tem-se que a orientação solar não influencia de forma tão considerável os níveis de iluminância (E) quanto a tipologia de vidro influencia. Assim, ao se comparar os mapas de iluminância das outras tipologias de vidros em relação as orientações solares, os mesmos apresentam diferença similar ao descrito.

Em relação ao tamanho da abertura, assim como esperado, aberturas maiores proporcionaram maior entrada de luz solar, resultando em maiores níveis de iluminância no interior do modelo, os mapas de acordo com as aberturas estão representados na Figura 27.

Figura 26 - Mapas de níveis de iluminância para 40% e SinglePane

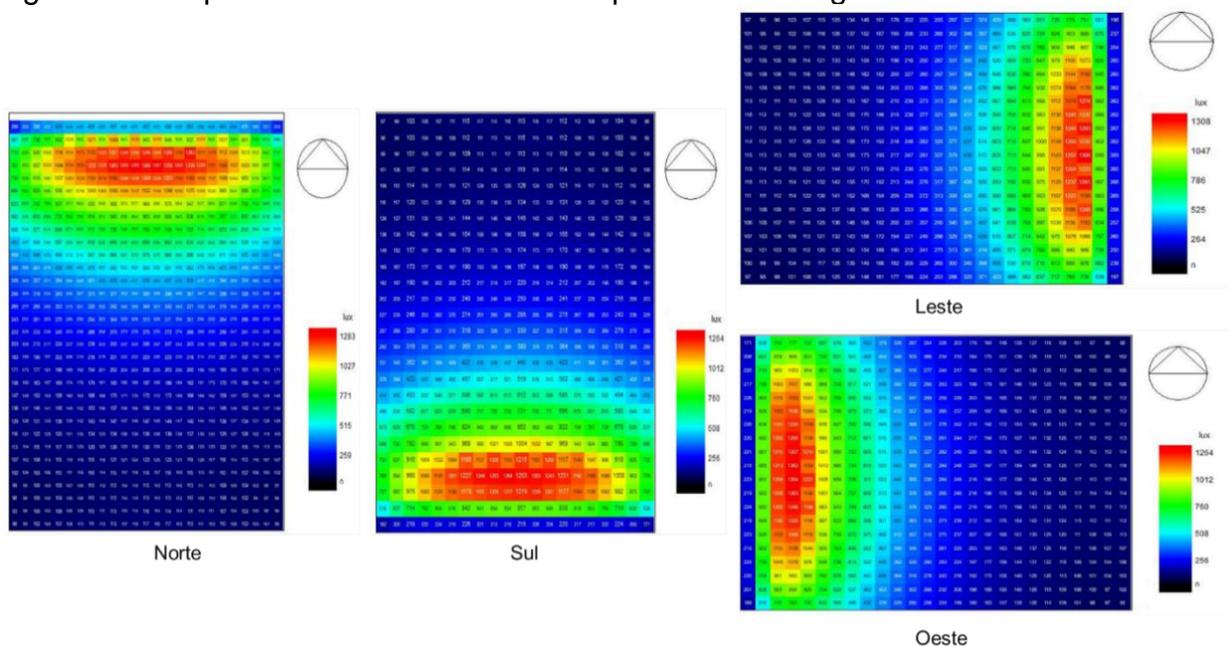
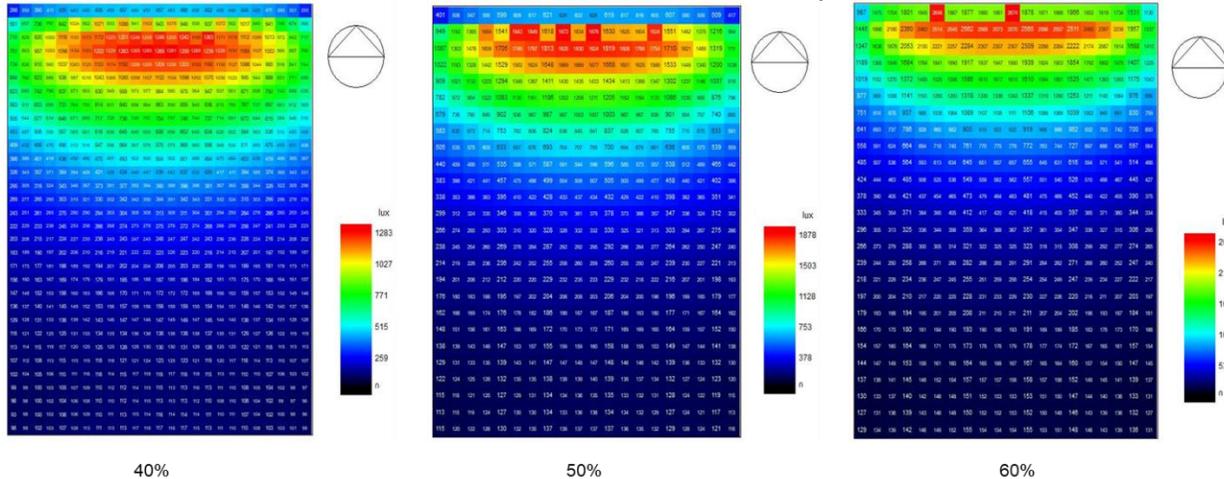


Figura 27 - Mapas de níveis de iluminância para vidro SinglePane e orientação norte



Além disso, de acordo com os mapas de iluminância, conforme esperado, em função da posição das aberturas, os níveis de iluminância são insuficientes em grande parte da área de piso. Nos pontos mais afastados da janela, os valores se encontram abaixo de 500 lux, independentemente da tipologia de vidro adotada ou da orientação solar simulada. Entretanto, vidros que permitem maior passagem de luz, como o SP, resultaram em maiores níveis de iluminância, tanto nos pontos próximos a janela quanto nos afastados.

4.2.2 Influência dos vidros na autonomia de luz (sDA)

A autonomia de luz (sDA) usa a iluminação do plano de trabalho como um indicador sobre a suficiência de luz no plano de trabalho para que o ocupante possa desenvolver a tarefa visual somente com auxílio da iluminação natural. Expressa a porcentagem de horas ocupadas do ano em que um valor mínimo de iluminância no plano de trabalho, nesse caso igual a 500 lux, é mantido apenas pela iluminação natural.

Os resultados de sDA da Tabela 17 indicam a porcentagem de horas do ano em que 500 lux são atingidos em cada ponto simulado, de acordo com a tipologia de vidro e orientação solar, para as três aberturas adotadas, bem como a área de piso na qual os 500 lux são proporcionados.

Tabela 17 - Níveis de sDA

Tipologias de vidro	Orientações	Níveis de sDA					
		PAF					
		40%		50%		60%	
		sDA (m ²)	sDA (%)	sDA (m ²)	sDA (%)	sDA (m ²)	sDA (%)
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	4,15	12,69	7,68	23,46	10,13	30,96
	Sul	0,00	0,00	0,50	1,54	4,53	13,85
	Leste	0,00	0,00	1,95	5,96	5,10	15,58
	Oeste	0,00	0,00	4,85	14,81	7,93	24,23
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	32,73	100,00	32,73	100,00	32,73	100,00
	Sul	25,49	77,88	32,73	100,00	32,73	100,00
	Leste	26,56	81,15	32,54	99,42	32,73	100,00
	Oeste	32,23	98,46	32,73	100,00	32,73	100,00
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	25,05	76,54	30,91	94,42	32,61	99,62
	Sul	18,00	55,00	22,03	67,31	23,54	71,92
	Leste	19,64	60,00	22,79	69,62	24,61	75,19
	Oeste	22,28	68,08	25,93	79,23	30,46	93,08
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	32,73	100,00	32,73	100,00	32,73	100,00
	Sul	31,03	94,81	32,73	100,00	32,73	100,00
	Leste	32,24	98,51	32,73	100,00	32,73	100,00
	Oeste	32,73	100,00	32,73	100,00	32,73	100,00

Através dos casos apresentados pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência dos parâmetros simulados.

A orientação solar é um dos fatores que influencia diretamente nos valores de sDA. Entre as orientações analisadas, a fachada norte evidencia as maiores porcentagens de horas no ano em que 500 lux são atingidos no plano de trabalho, chegando a 100% para os vidros SKN e SP, vidros com FS de 43% e 82%, respectivamente. Didoné (2012) obteve resultados similares, que chegaram a 96% no modelo com PAF de 75%, 64m² de piso e pé direito de 2,70m, corroborando a orientação norte como a orientação que proporciona valores mais altos de sDA. A orientação sul é a que possui os menores valores de sDA, se comparadas as outras orientações, para qualquer tipo de abertura e vidro analisado.

Como observado, o percentual de abertura na fachada (PAF) continua sendo um fator influenciador dos níveis de sDA. Quanto maior a abertura, maiores os níveis de sDA, para todas as tipologias de vidro. Em relação ao Fator Solar (FS), a diferença encontra-se nos valores de sDA pela porcentagem de área. Vidros com maior fator solar resultam em maiores níveis de sDA, com exceção do vidro SKN, que além do alto FS possui alto

índice de transmissão de luz visível, que ocasiona em maiores níveis de sDA, se comparado com o vidro GB que possui maior valor de FS, porém menor TV.

4.2.3 Influência dos brises na iluminância útil (UDI) e nos níveis de iluminância (E)

As proteções solares adotadas foram simuladas para as orientações norte, leste e oeste, que são as orientações que possuem necessidade de bloquear os raios solares diretos devido à alta incidência solar.

A Tabela 18 apresenta os resultados dos níveis de UDI para abertura de 40% com e sem brises, para as quatro tipologias de vidros nas três orientações solares citadas acima. Como nas análises anteriores, os valores de UDI representam a porcentagem de horas ocupadas do ano nas quais os níveis de iluminância, dentro da faixa de 100 lux a 2.000 lux, são atingidos no plano de trabalho.

Tabela 18 - Níveis de iluminâncias úteis (UDI) para abertura de 40% com e sem dispositivos de sombreamento

Tipologias de vidro	Orientações	PAF			
		40%			
		Sem brise		Com brise	
		Área de piso (m ²)	UDI (%)	Área de piso (m ²)	UDI (%)
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	17,81	54,42	7,93	24,23
	Sul	12,84	39,23	-	-
	Leste	13,91	42,50	0,00	0,00
	Oeste	15,67	47,88	0,00	0,00
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	30,15	92,12	32,73	100,00
	Sul	32,73	100,00	-	-
	Leste	32,73	100,00	2,46	7,5
	Oeste	32,73	100,00	1,70	5,19
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	32,73	100,00	32,73	100
	Sul	32,73	100,00	-	-
	Leste	32,73	100,00	0,00	0,00
	Oeste	32,73	100,00	0,00	0,00
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	28,45	86,92	32,73	100,00
	Sul	32,73	100,00	-	-
	Leste	32,73	100,00	4,784	14,62
	Oeste	32,04	97,88	4,784	14,62

Nota-se, que os dispositivos de sombreamento interferem nos níveis de UDI no interior do ambiente de forma significativa. Em relação aos vidros PN e GB, por apresentarem baixo TV (0,13 e 0,52, respectivamente), apresentam redução dos níveis de UDI ao se utilizar dispositivos de sombreamento. Isso se justifica pela baixa entrada de luz solar devido ao baixo FS, que acarreta ainda menor entrada ao sombrear a janela. Em relação ao PAF, para o vidro PN, o valor de UDI aumenta de acordo com a ampliação da abertura, assim, de 40% para 50% por exemplo, se permite maior entrada de luz solar, sem gerar ofuscamento, devido ao baixo valor de TV.

Quanto aos vidros SKN e SP, por possuírem valores de TV superiores aos das outras duas tipologias, apresentam aumento de UDI com o sombreamento, já que com a utilização de brises permitem faixas de iluminância que não causam ofuscamento, assim aumentam-se as horas ocupadas cujos valores de iluminância se encontram na faixa útil. Em relação ao PAF, os vidros SKN e SP, apresentam comportamento contrário aos dos vidros PN e GB, já que devido ao alto TV, já permitem entrada de luz considerável, ao se aumentar a abertura, provocam ainda mais entrada de luz fora da faixa útil, diminuindo o nível de UDI. A Tabela 19 demonstra os níveis de UDI sem e com dispositivos de sombreamento para abertura de 50%, nas orientações norte, leste e oeste. E, a Tabela 20, apresenta os resultados de níveis de UDI, sem e com dispositivos de sombreamento para abertura de 60%, nas orientações norte, leste e oeste.

Tabela 19 - Níveis de iluminâncias úteis (UDI) para abertura de 50% com e sem dispositivos de sombreamento

Tipologias de vidro	Orientações	PAF			
		50%			
		Sem brise		Com brise	
		Área de piso (m ²)	UDI (%)	Área de piso (m ²)	UDI (%)
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	21,40	65,38	10,45	31,92
	Sul	15,23	46,54	-	-
	Leste	17,00	51,92	0,00	0,00
	Oeste	18,95	57,88	0,00	0,00
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	26,75	81,73	32,73	100,00
	Sul	29,58	90,38	-	-
	Leste	31,72	96,92	6,99	21,35
	Oeste	29,58	90,38	6,92	21,15

GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	31,16	100,00	32,73	100,00
	Sul	32,73	100,00	-	-
	Leste	32,73	100,00	1,26	3,846
	Oeste	32,73	100,00	0,32	0,96
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	25,24	77,12	32,73	100,00
	Sul	31,09	95,00	-	-
	Leste	29,33	89,62	8,75	26,73
	Oeste	27,70	84,62	8,50	25,96

Tabela 20 - Níveis de iluminâncias úteis (UDI) para abertura de 60% com e sem dispositivos de sombreamento

Tipologias de vidro	Orientações	PAF			
		60%			
		Sem brise		Com brise	
		Área de piso (m ²)	UDI (%)	Área de piso (m ²)	UDI (%)
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	23,10	70,58	12,90	39,42
	Sul	17,81	54,42	-	-
	Leste	18,76	57,31	0,00	0,00
	Oeste	20,83	63,65	0,00	0,00
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	24,36	74,42	32,73	100,00
	Sul	29,84	91,15	-	-
	Leste	28,20	86,15	9,38	28,65
	Oeste	26,63	81,35	9,38	28,65
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	28,26	86,35	32,73	100,00
	Sul	32,73	100,00	-	-
	Leste	32,73	100,00	5,16	15,77
	Oeste	31,16	95,19	4,91	15,00
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	22,79	69,62	32,73	100,00
	Sul	27,70	84,62	-	-
	Leste	26,37	80,58	11,14	34,04
	Oeste	25,11	76,73	10,76	32,88

Em relação a tipologia de vidro, assim como nas análises anteriores, vidros com maior valor de TV permitiram maior entrada luz, aumentando os níveis de UDI. A Figura 28 representa os mapas de UDI para a abertura de 40% e orientação norte, para todas as tipologias de vidro. A Figura 29 representa esse comportamento.

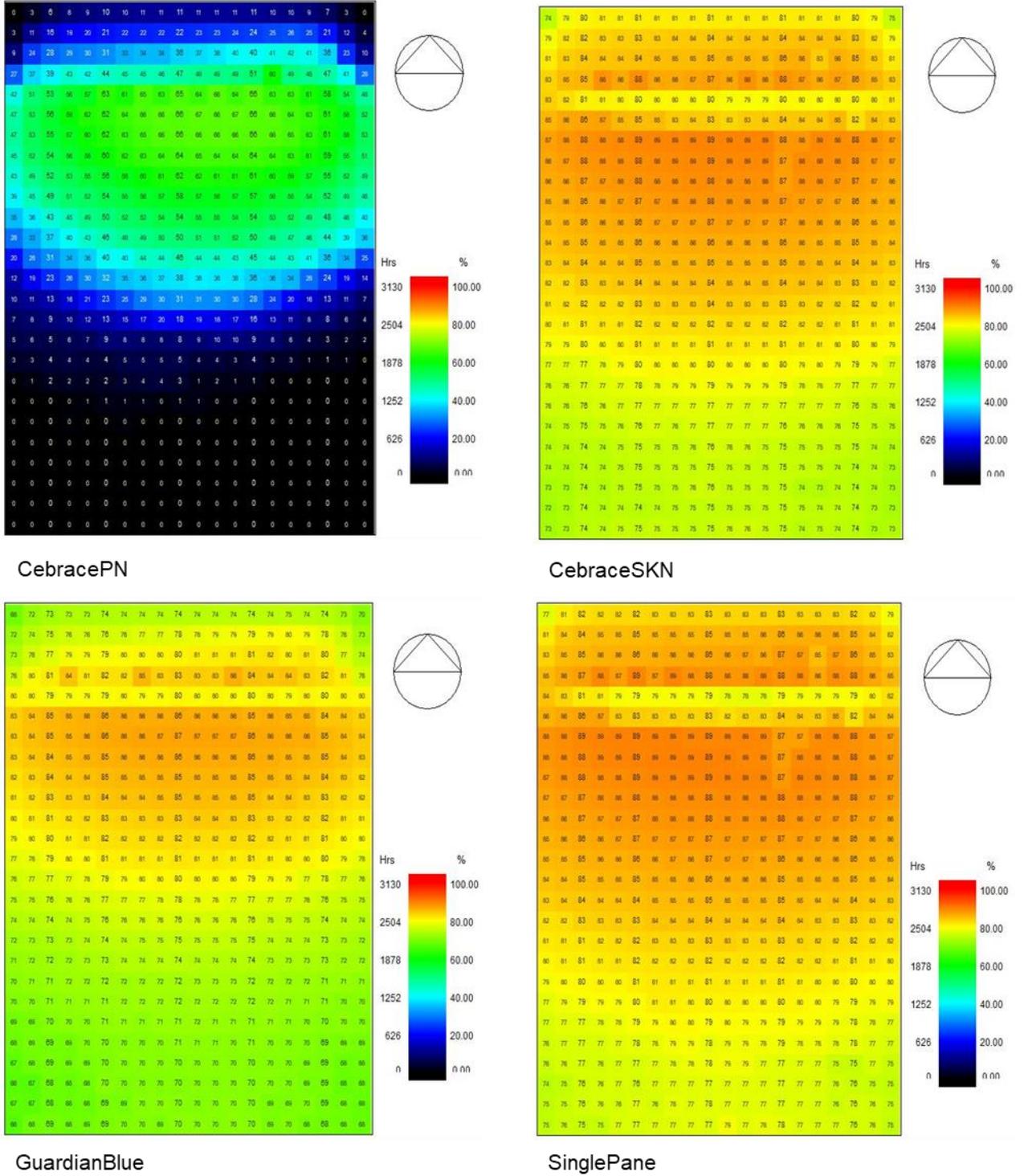
O uso da proteção solar horizontal (na orientação norte) permitiu ambientes mais iluminados quando comparados aos ambientes com uso da proteção vertical (nas orientações leste e oeste). Isso pode ser justificado devido às interreflexões internas, que

possibilitam a entrada de luz em regiões mais afastadas da janela. Os valores obtidos com o uso da proteção solar estão relacionados ao tamanho da abertura e tipo de vidro.

A Figura 28 representa os mapas de UDI para as tipologias de vidros PN, SKN, GB e SP, para a abertura de 40% com orientação fixa ao norte, ou seja, com dispositivos de sombreamento horizontais.

Em relação a distribuição do mapa de UDI do vidro PN, nota-se que somente a área próxima da janela atinge UDI entre 50% e 70%. Ao se avançar para o interior da sala os valores de UDI caem drasticamente, atingindo 0% de horas ocupadas cujo valor de iluminância se encontra na faixa útil. Esses valores reduzidos do fundo da sala representam pouca incidência luminosa nessa área, não alcançando o limite mínimo de 100 lux.

Figura 28 - Mapas de UDI para abertura 40% e orientação norte com sombreamento

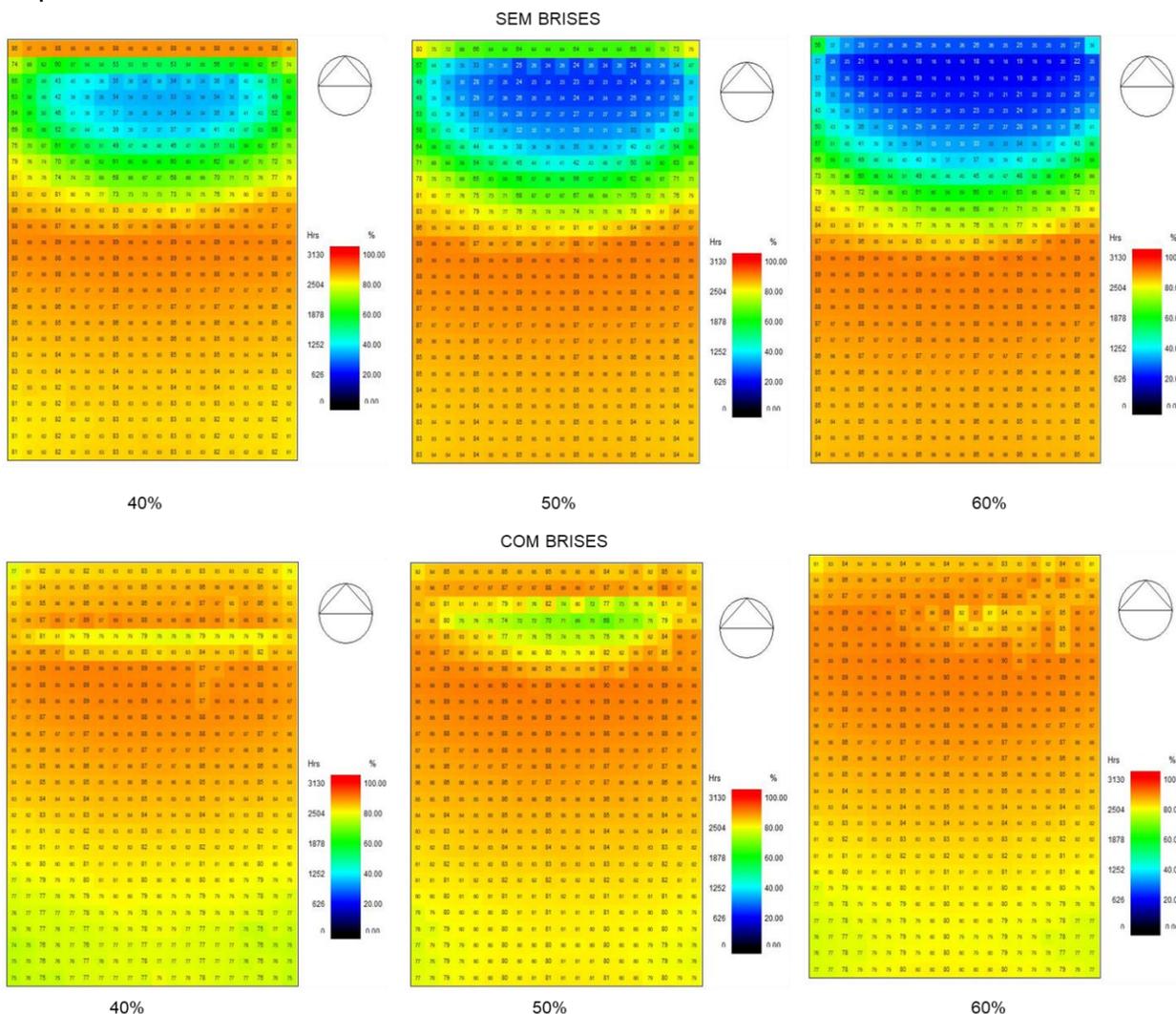


Quanto as tipologias SKN, GB e SP, nota-se que esses vidros apresentam comportamento similar para a mesma orientação solar. Os três vidros atingem a faixa de

UDI entre 70% e 80%. Entretanto, ao se comparar a área atingida pela janela, nota-se que para o vidro SP, os valores de UDI são reduzidos, isso se deve ao fato de que essa tipologia permite maior entrada de luz solar (TV 0,88), ou seja, há maior incidência solar nessa área, possivelmente atingindo valores fora da faixa útil e, diminuindo assim, o valor de UDI em relação ao SKN e GB. Todavia, ao se considerar a distribuição no interior da sala, mesmo com a utilização de brises, esses vidros possibilitam uma distribuição de UDI considerável, atingindo valores maiores que 70%.

A Figura 29 apresenta os mapas de UDI para a tipologia SP e orientação norte, com as áreas de abertura de 40%, 50% e 60%, sem e com sombreamento.

Figura 29 - Mapas de UDI para vidro SinglePane e orientação norte sem e com dispositivos de sombreamento



Ao se comparar os mapas de UDI sem sombreamento com os mapas com sombreamento para o vidro SP, nota-se que quanto maior a abertura, menor foram os níveis de UDI sem sombreamento, isso se deve ao alto valor de TV, como discutido anteriormente. Assim, ao se utilizar os dispositivos de sombreamento, os valores de UDI sofrem um aumento, principalmente na área próxima à janela, já que os brises impedem a entrada direta de luz solar, fazendo com que os níveis de iluminação acima de 2.000 lux sejam menores, aumentando os níveis dentro da faixa útil.

Tomando como exemplo a abertura de 40%, percebe-se que sem os brises os valores próximos à janela se situam na faixa de 35% a 50% de UDI. Ao se utilizar o sombreamento, esses valores aumentam para a faixa de 70% a 80%. Em relação a distribuição dos níveis de UDI no fundo da sala, nota-se que essa tipologia apresenta distribuição similar entre as três aberturas, com ou sem sombreamento.

Resultados similares foram encontrados para os vidros SKN e GB, já que possuem valores de TV similares aos do SP. Entretanto, ao se analisar os mapas de UDI para o vidro PN com sombreamento, nota-se que essa tipologia não atinge níveis de UDI acima de 40% para o fundo da sala, embora atinja esse valor sem a utilização de brises para a abertura de 60%. O restante dos mapas de UDI para todas as orientações e percentuais de abertura se encontram no Apêndice C.

A Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23 apresentam os resultados de níveis de iluminância mínimos e máximos para os três percentuais de aberturas e as quatro tipologias de vidros simuladas, com e sem dispositivos de sombreamento.

Tabela 21 - Níveis de iluminâncias mínimas e máximas para abertura 40% com e sem brises

Tipologias de vidro	Orientações	PAF			
		40%			
		Sem brise		Com brise	
		Ilum Min	Ilum Max	Ilum Min	Ilum Max
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	12,5	132,2	8,65	48,79
	Sul	12,4	130,6	-	-
	Leste	12,6	133,1	0,3	5,2
	Oeste	12,5	130,9	0,3	5,8
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	82,5	1088,7	55,03	324,35
	Sul	81,6	1057,1	-	-
	Leste	82,5	1092,3	2,2	37,6

	Oeste	81,5	1058,4	2,1	40,5
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	54,0	683,3	36,33	213,08
	Sul	54,7	670,6	-	-
	Leste	54,6	684,1	1,4	26,7
	Oeste	55,1	670,7	1,8	25,4
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	93,4	1283,3	63,75	383,36
	Sul	95,3	1264,2	-	-
	Leste	95,2	1327,7	2,6	46,4
	Oeste	95,4	1264,4	2,5	46,8

Tabela 22 - Níveis de iluminâncias mínimas e máximas para abertura 50% com e sem brises

Tipologias de vidro	Orientações	PAF			
		50%			
		Sem brise		Com brise	
		Ilum Min	Ilum Max	Ilum Min	Ilum Max
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	14,9	192,4	9,59	58,58
	Sul	14,9	185,0	-	-
	Leste	14,8	189,3	0,5	8
	Oeste	14,9	191,8	0,4	7,3
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	97,2	1562,6	59,88	389,64
	Sul	97,2	1525,7	-	-
	Leste	97,2	1566,7	2,6	62,2
	Oeste	97,7	1530,5	2,62	55,45
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	64,2	989,9	40,65	252,63
	Sul	64,8	961,7	-	-
	Leste	65,0	994,4	1,7	36,9
	Oeste	65,1	962,4	1,6	35,9
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	113,8	1878,8	70,22	472,99
	Sul	113,9	1827,0	-	-
	Leste	113,3	1884,4	3	72,5
	Oeste	113,5	1838,2	3,2	68,4

Tabela 23 - Níveis de iluminâncias mínimas e máximas para abertura 60% com e sem brises

Tipologias de vidro	Orientações	PAF			
		60%			
		Sem brise		Com brise	
		Ilum Min	Ilum Max	Ilum Min	Ilum Max
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	12,5	132,2	8,65	48,79
	Sul	12,4	130,6	-	-
	Leste	12,6	133,1	0,3	5,2
	Oeste	12,5	130,9	0,3	5,8
	Norte	82,5	1088,7	55,03	324,35
	Sul	81,6	1057,1	-	-

CebraceSKN FS 43% TV 76%	Leste	82,5	1092,3	2,2	37,6
	Oeste	81,5	1058,4	2,1	40,5
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	54,0	683,3	36,33	213,08
	Sul	54,7	670,6	-	-
	Leste	54,6	684,1	1,4	26,7
	Oeste	55,1	670,7	1,8	25,4
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	93,4	1283,3	63,75	383,36
	Sul	95,3	1264,2	-	-
	Leste	95,2	1327,7	2,6	46,4
	Oeste	95,4	1264,4	2,5	46,8

Os resultados mostram que o percentual de abertura na fachada (PAF) é um parâmetro bastante significativo para o comportamento da luz, como mostrado na Figura 30. O tamanho da abertura influencia a quantidade de luz natural disponível no ambiente, já que quanto maior o PAF, maior os níveis de iluminância que adentram a edificação, conforme esperado. Como exemplo pode-se observar os níveis mínimos de iluminância das três porcentagens de abertura, 40%, 50% e 60%, que obtiveram, respectivamente, 9,8, 11,6 e 13,00 lux para o vidro PN e orientação norte. O mesmo aumento em relação a abertura pode ser observado nas outras tipologias de vidro e orientação oeste e leste.

Assim como para os níveis de UDI, para os níveis de iluminância, quanto maior o TV e FS, maior a entrada de luz solar no modelo, como demonstrado na Figura 31, para abertura de 40% e orientação solar norte. Ao se analisar os percentuais de abertura de 50% e 60%, têm-se aumento similar dos níveis de iluminância (E), conforme aumento de abertura. Esses mapas estão representados no Apêndice D.

Outro parâmetro que influencia no comportamento da luz solar é a orientação solar das aberturas. A orientação leste permitiu entrada de pouca quantidade de lux a mais se comparada com a orientação norte e oeste, mesmo com a utilização de sombreamento, cerca de no máximo 50 lux de diferença entre leste e oeste, para qualquer tipologia de vidro analisada e PAF.

Figura 30 - Mapas de níveis de iluminância para vidro SinglePane e orientação norte com dispositivos de sombreamento

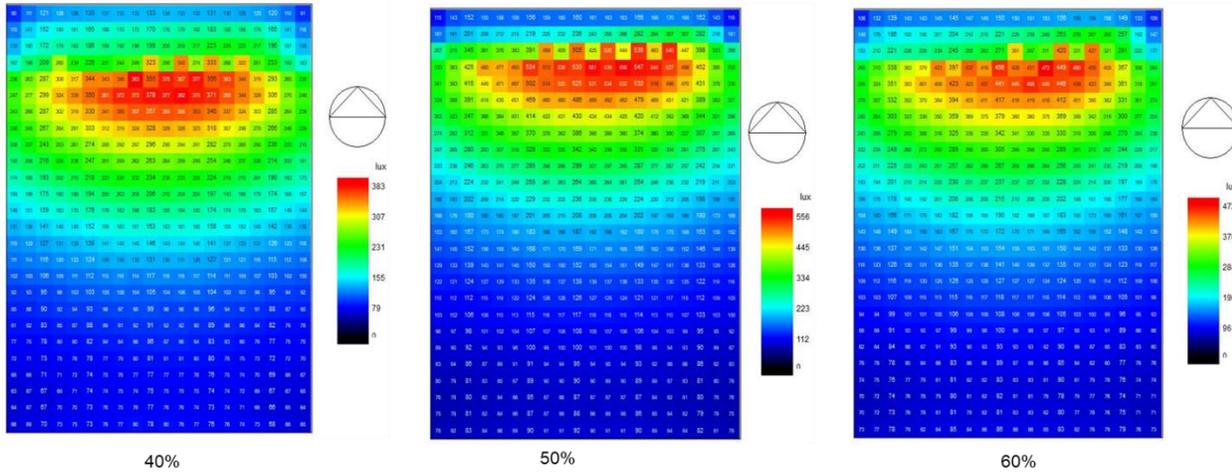
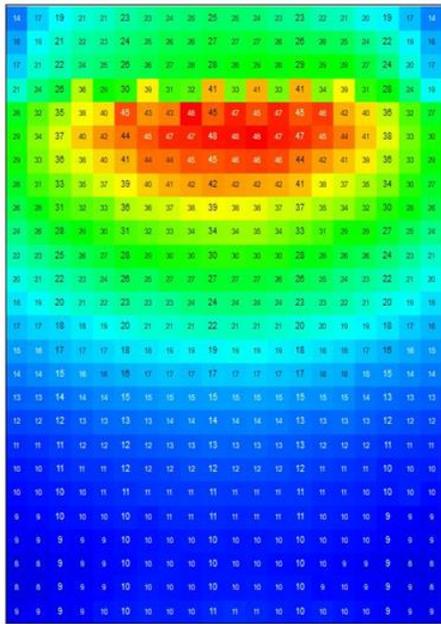
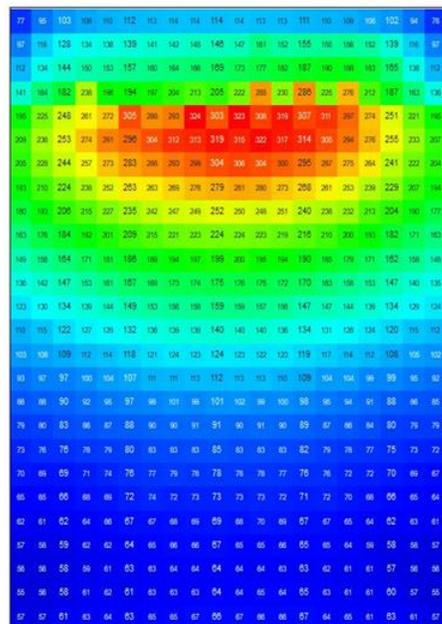


Figura 31 - Mapas de níveis de iluminância para abertura 40% e orientação norte



CebracePN



4.2.4 Influência dos brises na autonomia de luz (sDA)

Assim como no item sobre a autonomia de luz no modelo sem sombreamento, as mesmas análises foram feitas para os níveis de sDA com dispositivos de sombreamento. A autonomia de luz (sDA) usa a iluminação do plano de trabalho como um indicador de se há luz do dia suficiente em um espaço para que o ocupante possa trabalhar somente com auxílio da iluminação natural, com a utilização dos brises, esses níveis de sDA foram reduzidos. A porcentagem de horas ocupadas do ano em que um valor mínimo de iluminância no plano de trabalho, 500 lux, foi menor do que os níveis de sDA sem dispositivos de sombreamento, como esperado.

A Tabela 24 apresenta os resultados de sDA para a porcentagem de horas do ano em que 500 lux são atingidos em cada ponto simulado, de acordo com a tipologia de vidro e orientação solar, para a abertura de 40%, bem como a área de piso na qual os 500 lux são atingidos.

Tabela 24 - Autonomia de luz (sDA) para abertura de 40% com e sem brises

Tipologias de vidros	Orientações	PAF			
		40%			
		Sem brise		Com brise	
		sDA (m ²)	sDA (%)	sDA (m ²)	sDA (%)
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	4,15	12,69	0,00	0,00
	Sul	0,00	0,00	-	-
	Leste	0,00	0,00	0,00	0,00
	Oeste	0,00	0,00	0,00	0,00
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	32,73	100,00	24,988	76,35
	Sul	25,49	77,88	-	-
	Leste	26,56	81,15	0,00	0,00
	Oeste	32,23	98,46	0,00	0,00
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	25,05	76,54	16,743	51,15
	Sul	18,00	55,00	-	-
	Leste	19,64	60,00	0,00	0,00
	Oeste	22,28	68,08	0,00	0,00
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	32,73	100,00	30,276	92,5
	Sul	31,03	94,81	-	-
	Leste	32,24	98,51	0,00	0,00
	Oeste	32,73	100,00	0,00	0,00

A Tabela 25 e Tabela 26 apresentam os resultados de autonomia de luz do dia para as aberturas de 50% e 60% para cada tipologia de vidro e orientações solares norte, leste e oeste.

Tabela 25 - Autonomia de luz (sDA) para abertura de 50% com e sem brises

Tipologias de vidros	Orientações	PAF			
		50%			
		Sem brise		Com brise	
		sDA (m ²)	sDA (%)	sDA (m ²)	sDA (%)
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	7,68	23,46	0,00	0,00
	Sul	0,50	1,54	-	-
	Leste	1,95	5,96	0,00	0,00
	Oeste	4,85	14,81	0,00	0,00
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	32,73	100,00	28,26	86,35
	Sul	32,73	100,00	-	-
	Leste	32,54	99,42	0,00	0,00
	Oeste	32,73	100,00	0,00	0,00
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	30,91	94,42	18,63	56,92
	Sul	22,03	67,31	-	-
	Leste	22,79	69,62	0,00	0,00
	Oeste	25,93	79,23	0,00	0,00
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	32,73	100,00	32,48	99,23
	Sul	32,73	100,00	-	-
	Leste	32,73	100,00	0,00	0,00
	Oeste	32,73	100,00	0,00	0,00

Tabela 26 - Autonomia de luz (sDA) para abertura de 60% com e sem brises

Tipologias de vidros	Orientações	PAF			
		60%			
		Sem brise		Com brise	
		sDA (m ²)	sDA (%)	sDA (m ²)	sDA (%)
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	10,13	30,96	0,00	0,00
	Sul	4,53	13,85	-	-
	Leste	5,10	15,58	0,00	0,00
	Oeste	7,93	24,23	0,00	0,00
	Norte	32,73	100,00	31,03	94,81
	Sul	32,73	100,00	-	-

CebraceSKN FS 43% TV 76%	Leste	32,73	100,00	0,00	0,00
	Oeste	32,73	100,00	0,00	0,00
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	32,61	99,62	20,58	62,88
	Sul	23,54	71,92	-	-
	Leste	24,61	75,19	0,00	0,00
	Oeste	30,46	93,08	0,00	0,00
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	32,73	100,00	32,67	99,81
	Sul	32,73	100,00	-	-
	Leste	32,73	100,00	0,32	0,96
	Oeste	32,73	100,00	0,13	0,38

A orientação solar é um dos fatores que influencia diretamente nos valores de sDA. Entre as orientações analisadas, a norte apresenta as maiores porcentagens de horas no ano em que 500 lux são atingidos no plano de trabalho. Essa orientação obteve maior resultado de sDA para os vidros SKN e SP, que chegaram próximos a 100% para a abertura de 60%.

O percentual de abertura na fachada (PAF), continua sendo um fator influenciador dos níveis de sDA. Quanto maior a abertura, maiores os níveis de sDA, para todas as tipologias de vidro, o que é esperado. Em relação ao Fator Solar (FS), a diferença encontra-se nos valores de sDA pela porcentagem de área. Vidros com maior FS resultam em maiores níveis de sDA, com exceção do vidro SKN, que além do alto FS possui alto TV, que ocasiona em maiores níveis de sDA, se comparado com o vidro GB que possui maior valor de FS, porém menor TV.

4.3 ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL

Neste item, são descritos os resultados das simulações de luz natural e artificial integradas, para cada orientação solar e para cada tipologia de vidro, com e sem dispositivos de sombreamento. Os resultados da influência dos vidros no consumo de energia elétrica por luz artificial são descritos e analisados a seguir.

4.3.1 Influência dos vidros no consumo de energia elétrica na integração de luz natural e artificial

Para que fosse possível a comparação entre os consumos de energia elétrica de cada tipologia de vidro adotada, para cada abertura e orientação, com luz natural integrada a luz artificial, foi simulado o consumo de energia elétrica somente por iluminação artificial, de forma a quantificar a quantidade de kWh/m²/ano necessária para atingir os 500 lux somente com luz artificial. O resultado do consumo de luz artificial foi de 20,16 kWh/m²/ano. Como forma de simplificar as análises esse valor foi chamado de Luz artificial de referência.

Após isso, foi possível estabelecer relações entre os consumos de cada tipologia de vidro tendo como referência o consumo de luz artificial isolada. Os resultados de consumo de energia elétrica, para todos os vidros e aberturas estão representados na Tabela 27 e na Figura 32.

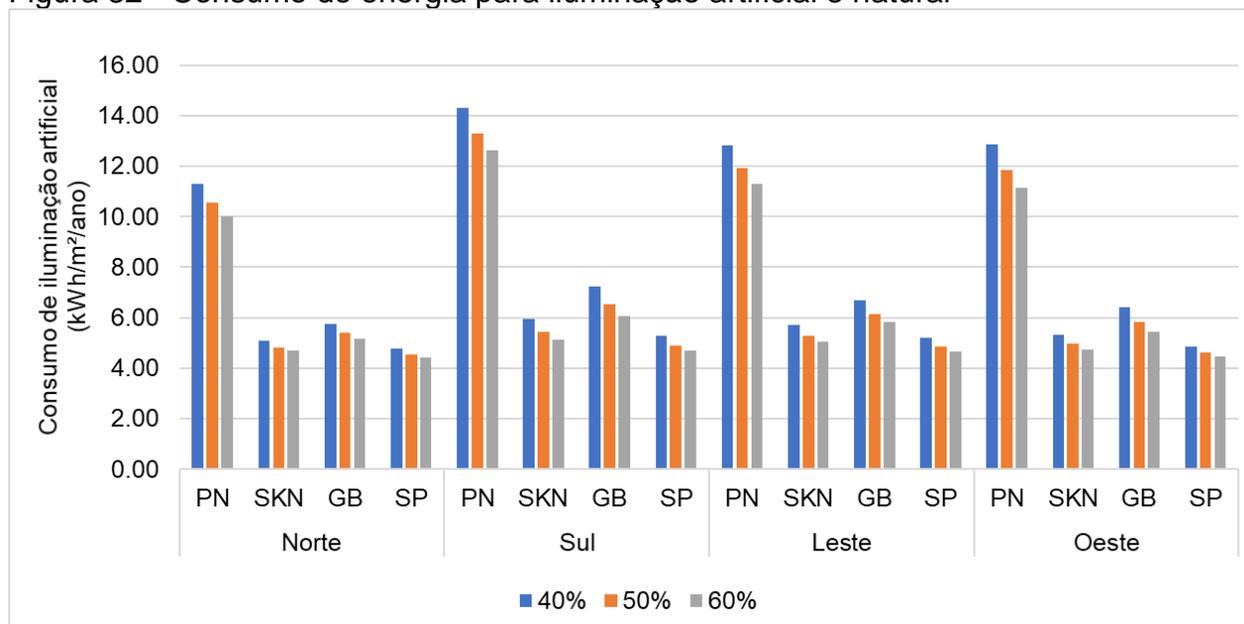
Como esperado, nota-se que aberturas maiores proporcionam economia de energia por iluminação artificial, já que permitem maior passagem de luz solar. Vidros com maiores valores de TV também geram economia de energia elétrica, pelo mesmo motivo (BODART; HERDE, 2002).

Tabela 27 - Consumo de energia elétrica por integração de luz artificial com natural em kWh/m²/ano

Tipologias de vidros	Orientações Solares	40%	50%	60%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	11,30	10,54	10,02
	Sul	14,32	13,30	12,61
	Leste	12,82	11,92	11,28
	Oeste	12,85	11,85	11,15
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	5,09	4,83	4,68
	Sul	5,95	5,43	5,12
	Leste	5,70	5,30	5,05
	Oeste	5,32	4,95	4,75
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	5,76	5,40	5,18
	Sul	7,22	6,53	6,08
	Leste	6,68	6,15	5,81
	Oeste	6,41	5,81	5,44

SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	4,76	4,55	4,42
	Sul	5,29	4,91	4,69
	Leste	5,19	4,87	4,67
	Oeste	4,85	4,60	4,45

Figura 32 - Consumo de energia para iluminação artificial e natural



A Tabela 28 mostra as porcentagens de redução de consumo de energia, em relação ao consumo de luz artificial de referência em cada abertura e cada orientação, em função da tipologia de vidro.

Nota-se, por meio da Tabela 28, que vidros com maiores valores de transmissão de luz visível (TV) e maior fator solar (FS) permitem maior porcentagem de redução de consumo de energia elétrica, chegando a cerca de 78% de economia ao ano com iluminação artificial, com o vidro SP para orientação norte. Isso se dá pelo fato de que esse vidro permite maior passagem de luz, acrescentando o fato de ser a maior abertura simulada. Esse resultado é corroborado pelo estudo de Bodart e Herde (2002), que analisaram nove tipologias de vidros com TV variando de 0% a 81%. Os resultados indicaram redução de 50% a 80% no consumo de energia por iluminação artificial ao utilizar a luz natural em conjunto.

Além desses autores, Shehabi et al. (2013) concluíram que revestimentos prismáticos de vidro têm o potencial de reduzir o uso de energia associado à demanda

de iluminação elétrica comercial dos EUA em até 930 TBtu. Essa redução na demanda de iluminação elétrica representa um aumento de aproximadamente 85% na economia de energia estimada com a implementação de estratégias convencionais de luz natural vertical. Em contrapartida, vidros como o PN, com baixo TV, resultaram nas menores porcentagens de redução de consumo de energia, entre 28,97% e 50,30%. Mesmo se tratando de vidros com baixo TV, os resultados são satisfatórios, alcançando cerca de 50% de redução de consumo de energia elétrica com a integração de luz natural com artificial.

Tabela 28 - Porcentagem de redução do consumo de energia elétrica em relação ao consumo de luz artificial de referência em função da tipologia de vidro

Tipologias de vidros	Orientações	PAF		
		40%	50%	60%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	43,95%	47,72%	50,30%
	Sul	28,97%	34,03%	37,45%
	Leste	36,41%	40,87%	44,05%
	Oeste	36,26%	41,22%	44,69%
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	74,75%	76,04%	76,79%
	Sul	70,49%	73,07%	74,60%
	Leste	71,73%	73,71%	74,95%
	Oeste	73,61%	75,45%	76,44%
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	71,43%	73,21%	74,31%
	Sul	64,19%	67,61%	69,84%
	Leste	66,87%	69,49%	71,18%
	Oeste	68,20%	71,18%	73,02%
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	76,39%	77,43%	78,08%
	Sul	73,76%	75,64%	76,74%
	Leste	74,26%	75,84%	76,84%
	Oeste	75,94%	77,18%	77,93%

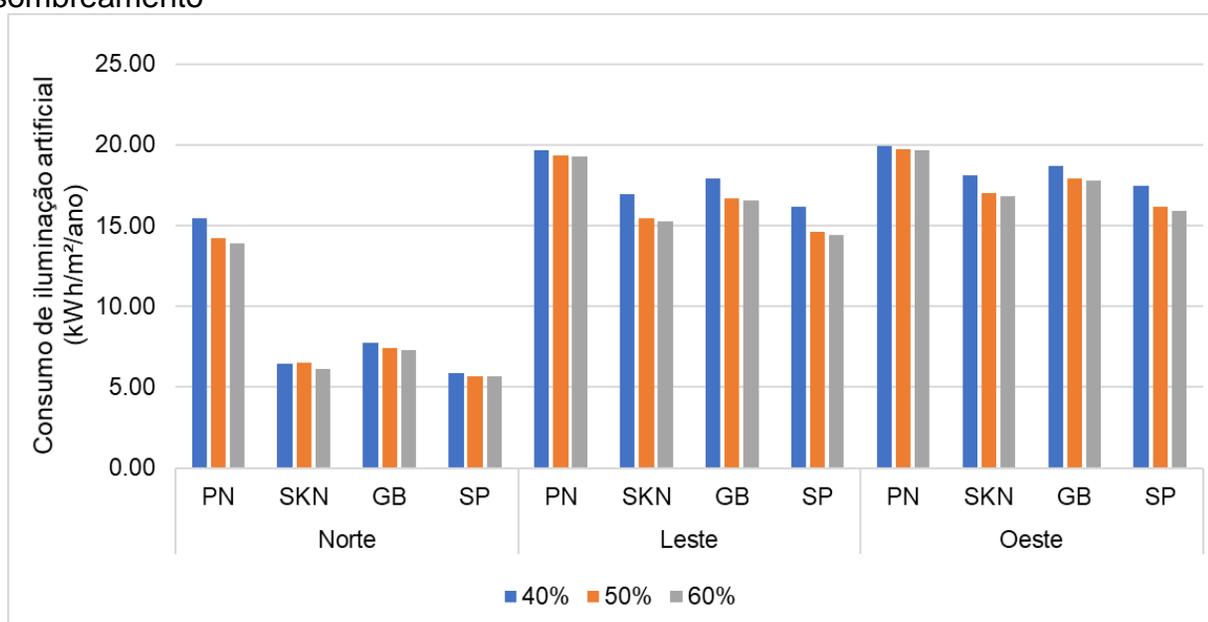
4.3.2 Influência dos brises no consumo de energia elétrica na integração de luz natural e artificial

Para controlar os efeitos da luz do dia, o foco geralmente é direcionado ao uso de dispositivos de sombreamento, bem como a integração entre iluminação artificial e natural (WONG; ISTIADJI, 2004). Assim, os resultados da Figura 33 representam os consumos de iluminação artificial integrada a natural, com o uso de dispositivos de

sombreamento, para as orientações norte, leste e oeste, para os três percentuais de abertura simulados.

De acordo com os resultados, como esperado, aberturas maiores ainda permitem maior entrada de luz natural, mesmo com a utilização de sombreamento, nas três orientações simuladas, proporcionando menor consumo de energia por luz artificial. A Tabela 29 demonstra os valores de consumo em kWh/m²/ano, exibidos na Figura 33.

Figura 33 - Consumo de energia para iluminação artificial e natural com dispositivos de sombreamento



De acordo com a tipologia do vidro, quanto menor o TV menor a entrada de luz solar no ambiente, assim, o vidro PN resultou nos maiores consumos de energia por iluminação artificial com a utilização de sombreamento nas aberturas. O mesmo resultado foi encontrado sem sombreamento, com a diferença de aumento de consumo na simulação com brises. O oposto ocorre com maiores valores de TV, como é o caso do vidro SP, que permitiu os menores consumos de iluminação artificial, para as três aberturas e três orientações.

Quanto a orientação solar, norte e leste por permitirem maior entrada de luz solar, resultaram nos menores consumos por iluminação artificial, conforme esperado. Dessa maneira, a orientação oeste foi a que mais consumiu energia para iluminação,

considerando o uso de sombreamento nas aberturas. Já que a orientação sul não necessita de brises, as análises foram feitas somente para as outras três orientações.

Tabela 29 - Consumo de energia para iluminação artificial e natural com dispositivos de sombreamento em kWh/m²/ano

Tipologias de vidros	Orientações	40%	50%	60%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	15,47	14,21	13,90
	Sul	-	-	-
	Leste	19,65	19,33	19,30
	Oeste	19,90	19,70	19,66
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	6,44	6,53	6,15
	Sul	-	-	-
	Leste	16,94	15,45	15,27
	Oeste	18,08	16,98	16,79
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	7,77	7,40	7,31
	Sul	-	-	-
	Leste	17,88	16,67	16,55
	Oeste	18,71	17,93	17,79
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	5,89	5,71	5,69
	Sul	-	-	-
	Leste	16,14	14,63	14,39
	Oeste	17,48	16,16	15,91

As porcentagens de aumento no consumo de energia por iluminação artificial em decorrência da utilização de sombreamento nas aberturas estão representadas na Tabela 30. Aberturas com brises chegam a consumir cerca de 260% a mais em iluminação artificial do que sem a utilização de brises (caso oeste com tipologia de vidro SP). Vale ressaltar que por mais que a utilização de dispositivos de sombreamento causem aumento no consumo de energia para iluminação, também proporcionam melhora no conforto visual do ocupante, já que evitam a entrada direta de luz solar causando ofuscamento no interior do cômodo. Outro ponto a ser levantado é a tipologia de sombreamento utilizado, há casos, como o brise horizontal que permitem a entrada de iluminação difusa, causando maiores níveis internos de iluminação, se comparados com os brises verticais que preenchem completamente a abertura e não permitem a entrada de luz difusa. Em relação ao ofuscamento, pesquisas como a de Xiong e Tzempelikos (2016) mostrou que os valores de probabilidade de ofuscamento

permaneceram abaixo de 35% na maioria dos casos, enquanto os níveis de iluminação do plano de trabalho eram adequados. Uma sugestão para trabalhos futuros seria analisar a necessidade de usar aberturas maiores juntamente com a aplicação do brise, já que em certos casos, esses dispositivos promovem melhora no conforto visual e redução do consumo de energia elétrica.

Tabela 30 – Porcentagem de aumento de consumo por iluminação artificial e natural entre modelos sem e com dispositivos de sombreamento

Tipologias de vidros	Orientações	40%	50%	60%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	36,90%	34,82%	38,72%
	Sul	-	-	-
	Leste	53,29%	62,15%	71,10%
	Oeste	54,83%	66,23%	76,33%
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	26,52%	35,20%	31,41%
	Sul	-	-	-
	Leste	197,23%	191,54%	202,40%
	Oeste	239,81%	243,12%	253,45%
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	34,90%	37,04%	41,12%
	Sul	-	-	-
	Leste	167,69%	171,02%	184,88%
	Oeste	191,83%	208,60%	226,97%
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	23,74%	25,49%	28,73%
	Sul	-	-	-
	Leste	210,89%	200,38%	208,08%
	Oeste	260,50%	251,34%	257,49%

Assim como esperado, as maiores porcentagens de aumento no consumo se dão para a abertura de 40% e orientação norte para o vidro PN, já que esses fatores possibilitam menor entrada de luz solar. Além disso, o vidro SP, por possuir o maior valor de TV possibilitou as menores porcentagens de aumento de consumo, já que permite alta entrada de luz solar, fazendo com que o aumento de abertura tenha menos influência na entrada de luz solar do que a transmissão de luz visível.

O contrário ocorre com o vidro PN. que por possuir o menor TV resultou nos maiores percentuais de aumento de consumo de energia, pelo mesmo motivo citado acima, a influência da abertura tem menos peso do que a influência da transmissão de luz e, por

permitir baixa entrada de luz solar, acarretou nos maiores consumos de energia por iluminação artificial.

4.4 INTEGRAÇÃO DE CONDICIONAMENTO DE AR COM ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL

Nesse item são descritos os resultados das simulações de luz natural e artificial integradas juntamente com o condicionamento de ar, para cada orientação solar e para cada tipologia de vidro, com e sem dispositivos de sombreamento. Os resultados da influência dos vidros, orientação solar e percentual de abertura na fachada no consumo de energia elétrica por luz artificial são descritos e analisados abaixo.

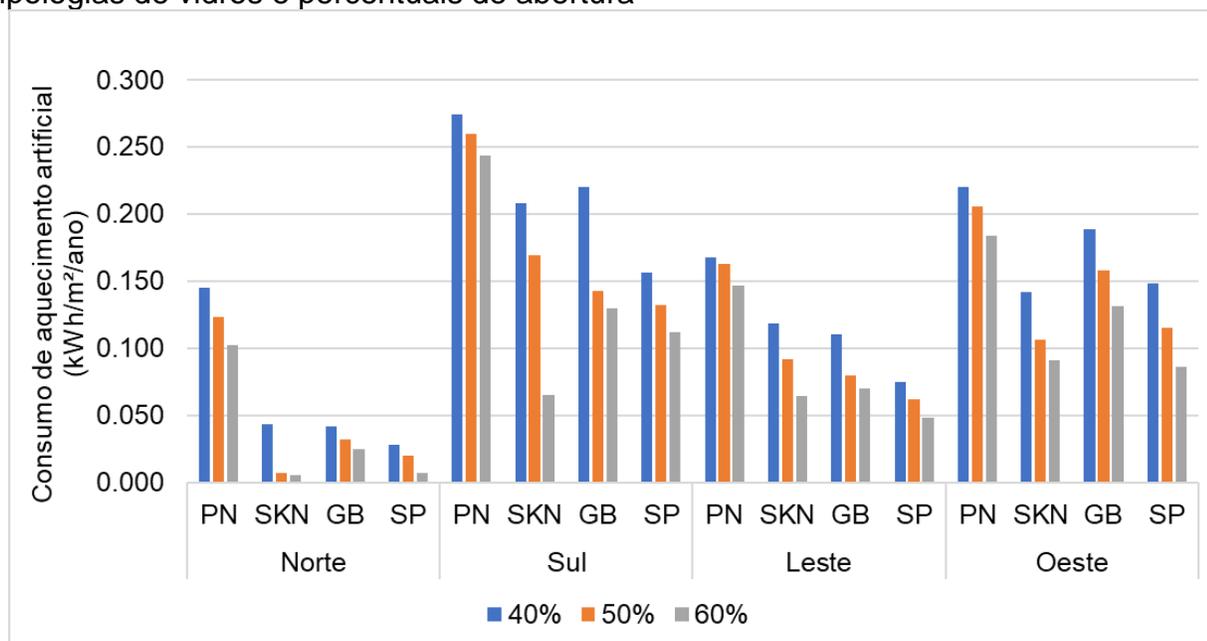
4.4.1 Influência dos vidros no consumo de energia elétrica na integração de luz natural e artificial com condicionamento de ar

Para quantificar o consumo de energia elétrica para a carga térmica proveniente somente da abertura, as demais paredes e cobertura foram consideradas adiabáticas.

A Figura 34 apresenta os resultados de consumo de energia elétrica por aquecimento artificial para cada tipologia de vidro, orientação e percentual de abertura simulados. A Tabela 31 mostra os valores de consumo de energia elétrica por aquecimento artificial de cada abertura e tipologia de vidro para as quatro orientações solares.

Por meio dos resultados da Figura 34 e Tabela 31, nota-se que o consumo de energia elétrica por aquecimento artificial reduz conforme se aumenta o percentual de abertura na fachada, isso ocorre devido a maior carga térmica que incide através de aberturas maiores, conforme já esperado.

Figura 34 - Consumo de energia elétrica por aquecimento artificial para todas as tipologias de vidros e percentuais de abertura



Quanto às tipologias de vidros, nota-se que vidros com maiores índices de FS resultam em menor consumo de energia por aquecimento artificial, já que conforme esperado, permitem maior entrada de carga térmica no modelo, necessitando de menos energia para aquecimento. Além disso, vidros como o SP, que além do alto FS possuem também alta transmitância térmica, permitem ainda mais a passagem de calor, resultando nos menores consumo de energia elétrica por aquecimento.

Em contrapartida, ao se analisar o FS do vidro PN, nota-se o alto consumo por aquecimento artificial, já que este vidro permite pouca passagem de calor, por mais que sua transmitância térmica seja alta, o FS faz com que a entrada de radiação direta seja menor.

Em relação as orientações solares, sul e oeste são as que possuem maior consumo de energia elétrica para aquecimento em todas as tipologias de vidro. Ao contrário de norte e leste que possuem menores valores de consumo.

Tabela 31 - Consumos de energia elétrica por aquecimento artificial em kWh/m²/ano

Tipologias de vidros	Orientações	PAF		
		40%	50%	60%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	0,145	0,123	0,102
	Sul	0,274	0,260	0,244
	Leste	0,168	0,163	0,147
	Oeste	0,220	0,206	0,184
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	0,043	0,007	0,005
	Sul	0,208	0,169	0,065
	Leste	0,119	0,092	0,064
	Oeste	0,142	0,106	0,091
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	0,042	0,032	0,025
	Sul	0,220	0,143	0,130
	Leste	0,110	0,080	0,070
	Oeste	0,189	0,158	0,131
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	0,028	0,020	0,007
	Sul	0,156	0,132	0,112
	Leste	0,075	0,062	0,048
	Oeste	0,148	0,115	0,086

A Tabela 32 representa as porcentagens de redução de consumo de energia elétrica por aquecimento artificial, tendo como referência as aberturas de 40% e 50%. Assim, os valores nela demonstrados se referem a redução de energia elétrica das aberturas de 50% e 60% em relação aos consumos de energia elétrica da abertura de 40%. Além disso, é demonstrado também, o percentual de redução no consumo de energia da abertura de 60% em relação a abertura de 50%.

Nota-se pela Tabela 32, que a abertura de 60% provoca maiores porcentagens de economia de energia por aquecimento se comparada com a abertura de 50%, em relação a abertura de 40%, demonstrando a influência da abertura no consumo de energia elétrica por aquecimento. Assim, um aumento de 20% na abertura pode acarretar até cerca de 88,37% de economia de energia por aquecimento.

Esses valores estão vinculados ao *setpoint* estabelecido, para aquecimento de 20,5 °C e de 23,5 °C para resfriamento, dessa forma, se essa faixa de temperatura for alterada o consumo resultante também sofrerá alteração.

Tabela 32 - Porcentagem de redução de consumo de energia elétrica por aquecimento artificial em relação a abertura de 40%

Tipologias de vidros	Orientações	PAF		
		Redução do consumo do PAF 50% em relação ao PAF 40%	Redução do consumo do PAF 60% em relação ao PAF 40%	Redução do consumo do PAF 60% em relação ao PAF 50%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	-15,17%	-29,66%	-17,07%
	Sul	-5,11%	-10,95%	-6,15%
	Leste	-2,98%	-12,50%	-9,82%
	Oeste	-6,36%	-16,46%	-10,78%
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	-83,72%	-88,37%	-28,57%
	Sul	-18,75%	-68,75%	-61,54%
	Leste	-22,44%	-46,05%	-30,43%
	Oeste	-25,26%	-35,89%	-14,23%
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	-23,81%	-40,48%	-21,88%
	Sul	-35,00%	-40,91%	-9,09%
	Leste	-27,27%	-36,36%	-12,50%
	Oeste	-16,40%	-30,69%	-17,09%
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	-28,57%	-75,00%	-65,00%
	Sul	-15,38%	-28,21%	-15,15%
	Leste	-17,33%	-36,00%	-22,58%
	Oeste	-22,30%	-41,89%	-25,22%

Já a Figura 35 e a Tabela 33 representam os valores de consumo de energia elétrica por resfriamento artificial para as mesmas tipologias, aberturas e orientações. Nota-se, por meio desses resultados, que aberturas maiores necessitam de maior energia para resfriamento do modelo, inversamente ao consumo por aquecimento artificial, o que era esperado.

Quanto às orientações, assim como os níveis de iluminância foram maiores para as orientações leste e oeste e, em alguns casos, norte, o mesmo ocorre para o consumo de condicionamento de ar, que é maior para essas mesmas orientações. Dessa forma, a orientação sul é a que menos consome energia para todas as tipologias.

Ao se analisar as tipologias de vidros, vidros com valores menores de transmitância térmica permitem menor entrada de carga térmica, necessitando de menos energia para condicionamento de ar, conforme esperado. Vidros como o SP, que possuem U igual a $5,82 \text{ W/m}^2\text{K}$, resultam em maior consumo por resfriamento artificial, cerca de $52 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$, para casos que recebem maior incidência solar, como é o caso da abertura

de 60% e orientação solar leste. Parte disso se deve ao alto FS desse vidro, cujo valor é 88%, que permite maior entrada de radiação solar, além da transmitância térmica.

O vidro SKN por ter um valor de FS intermediário, de 43% e, a mais baixa transmitância térmica, de 3,23 W/m²K, possibilitou os menores consumos de energia por resfriamento artificial, conforme esperado. A Tabela 34 demonstra a porcentagem de aumento de consumo de energia por resfriamento artificial das aberturas de 50% e 60%, tendo como referência a abertura de 40%.

Figura 35 - Consumo de energia elétrica por resfriamento artificial para todas as tipologias de vidros e percentuais de abertura

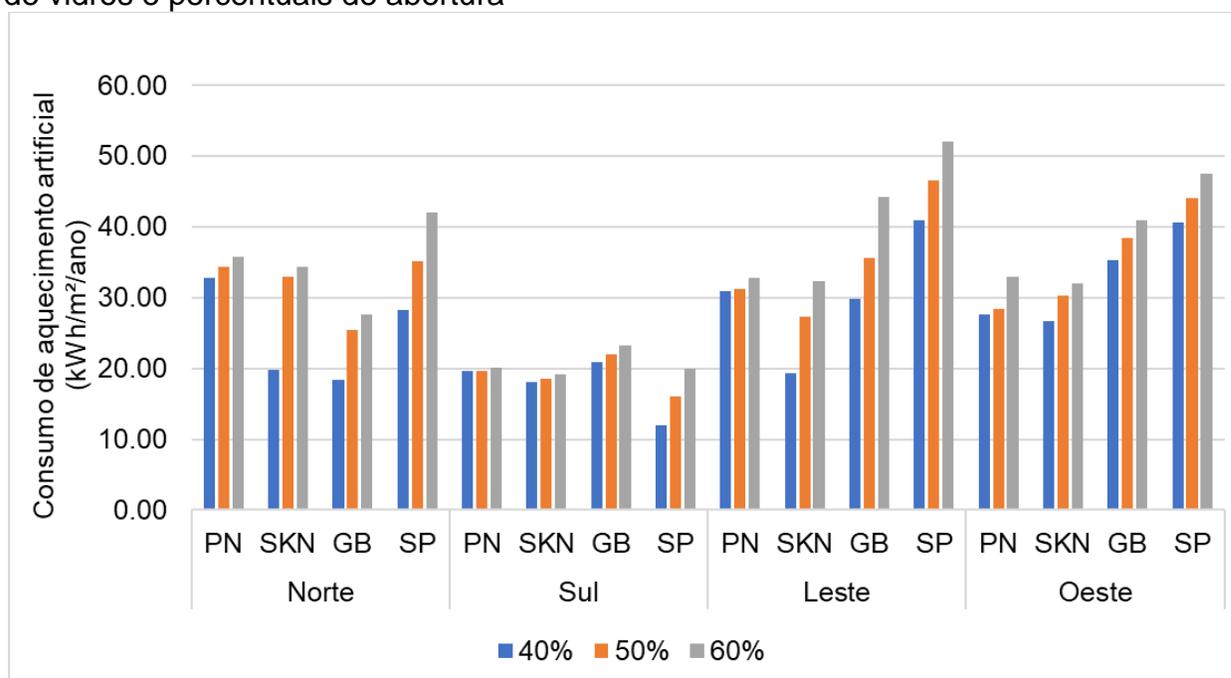


Tabela 33 - Consumos de energia elétrica por resfriamento artificial em kWh/m²/ano

Tipologias de vidros	Orientações	PAF		
		40%	50%	60%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	32,87	34,35	35,78
	Sul	19,67	19,69	20,05
	Leste	30,99	31,21	32,72
	Oeste	27,62	28,42	32,91
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	19,74	32,88	34,32
	Sul	18,14	18,56	19,10
	Leste	19,32	27,24	32,39
	Oeste	26,72	30,23	32,08

GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	18,45	25,37	27,57
	Sul	20,92	21,94	23,23
	Leste	29,76	35,68	44,17
	Oeste	35,26	38,50	40,98
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	28,27	35,09	42,04
	Sul	12,03	16,05	20,02
	Leste	40,92	46,58	52,10
	Oeste	40,62	44,15	47,56

Tabela 34 - Porcentagem de aumento de consumo de energia elétrica por resfriamento artificial em relação a abertura de 40%

Tipologias de vidros	Orientações	PAF		
		Aumento do consumo do PAF 50% em relação ao PAF 40%	Aumento do consumo do PAF 60% em relação ao PAF 40%	Aumento do consumo do PAF 60% em relação ao PAF 50%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	4,50%	8,85%	4,16%
	Sul	0,10%	1,93%	1,83%
	Leste	0,71%	5,58%	4,84%
	Oeste	2,90%	19,15%	15,80%
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	66,57%	73,86%	4,38%
	Sul	2,32%	5,29%	2,91%
	Leste	40,99%	67,65%	18,91%
	Oeste	13,14%	20,06%	6,12%
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	37,51%	49,43%	8,67%
	Sul	4,88%	11,04%	5,88%
	Leste	19,89%	48,42%	23,79%
	Oeste	9,19%	16,22%	6,44%
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	24,12%	48,71%	19,81%
	Sul	33,42%	66,42%	24,74%
	Leste	13,83%	27,32%	11,85%
	Oeste	8,69%	17,09%	7,72%

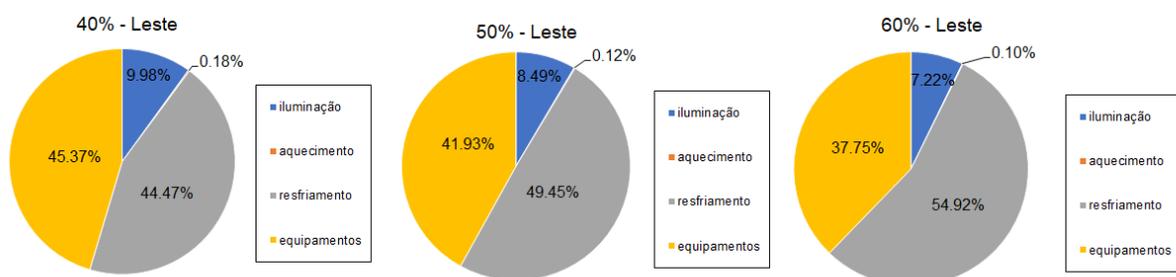
Assim como esperado, aberturas maiores provocaram maiores aumentos ou reduções de consumo de energia por resfriamento e aquecimento artificiais, já que maiores aberturas causam maior entrada de carga térmica. Ao se aumentar o PAF aumenta-se também, a porcentagem de consumo de energia elétrica por resfriamento.

Ao se comparar o aumento de consumo das aberturas de 50% em relação a abertura de 40% e, de 60% em relação a 40%, percebe-se que o aumento de 20% no PAF (40% para 60%) ocasiona um aumento de consumo mais significativo que o aumento de consumo entre as aberturas de 40% para 50%. Isso representa que o aumento do

PAF influencia de forma significativa o consumo de energia, podendo aumentar o consumo por resfriamento em até 73,86%, com somente 20% de aumento de área de janela, para o vidro SKN e orientação norte.

A Figura 36 representa as porcentagens de consumo de cada fonte para os três PAF para o vidro GB e orientação leste. Nota-se a influência da abertura no aumento do consumo de energia por condicionamento de ar e na diminuição de consumo por iluminação e aquecimento artificiais. Para a abertura de 40%, o resfriamento artificial é responsável por quase 45% do consumo total, já para a abertura de 60% esse consumo chega aos 55%.

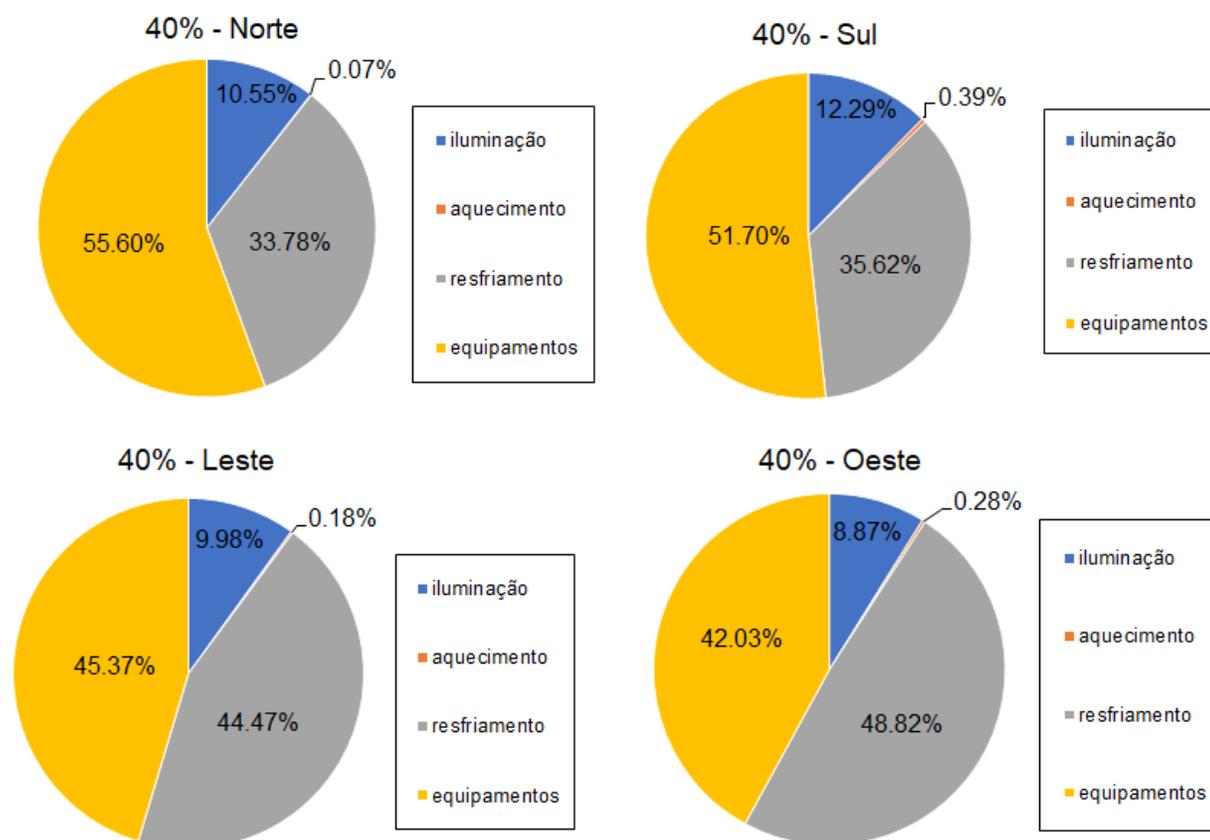
Figura 36 - Porcentagem de consumo de energia para vidro GuardianBlue em relação aos percentuais de abertura



O contrário ocorre para iluminação artificial e aquecimento, para a abertura de 40%, o consumo por iluminação é de quase 10% e de aquecimento 0,18% do total, reduzindo para 7,22% e 0,10%, respectivamente, na abertura de 60%. Nota-se que a integração de luz natural com artificial provoca diminuição do consumo de energia dos sistemas de iluminação, entretanto acarreta aumento no consumo de condicionamento de ar, principalmente para as orientações leste e oeste.

Para se ter uma noção da magnitude relativa da energia necessária para os vários usos finais de todo o modelo, a Figura 37 mostra a decomposição da energia do local com o vidro GB e uma janela para relação de parede de 40% (sem dispositivos de sombreamento) para o clima zona bioclimática 2, de acordo com a orientação solar. Para esse vidro, a iluminação e o HVAC (refrigeração, aquecimento) representam mais da metade do uso final de energia para as orientações leste e oeste, sendo influenciados pela luz do dia.

Figura 37 - Porcentagem de consumo de energia para vidro GuardianBlue em relação as orientações solares



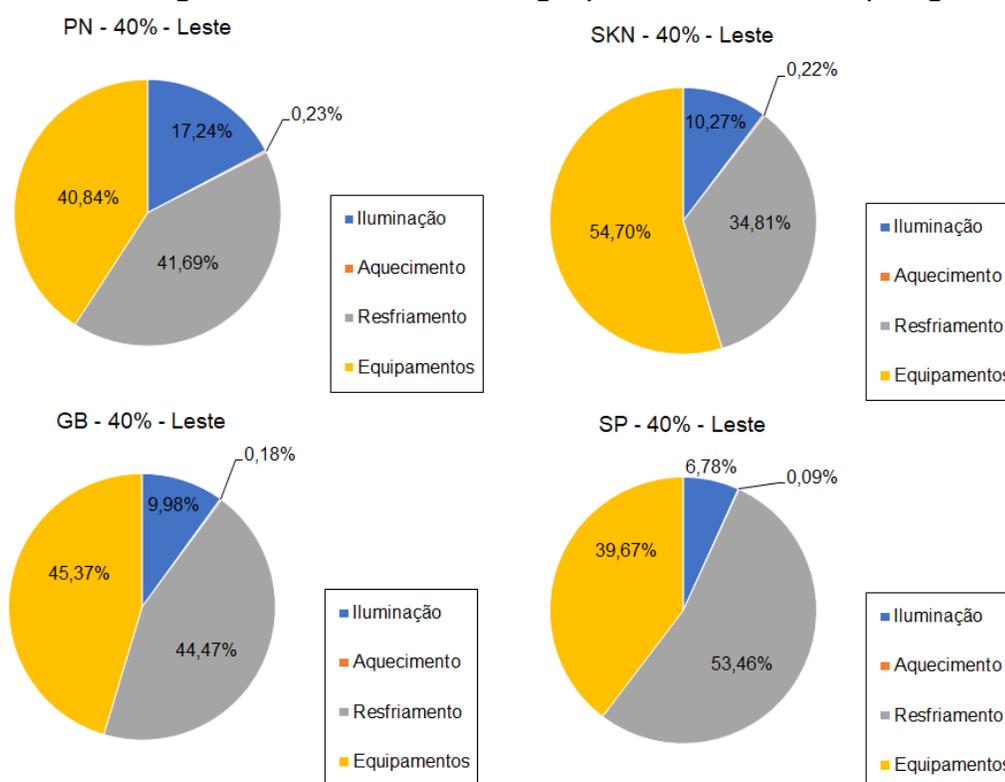
Analisando-se individualmente os consumos por resfriamento, o vidro SP resulta nos maiores consumos, 40,92 kWh/m²/ano para a abertura de 40% e orientação leste, isso se dá pelo maior FS do vidro e, também pela maior transmitância térmica. Assim, o resfriamento artificial é, também, responsável pela maior percentagem de consumo em relação ao total, cerca de 53%, como mostra a Figura 38.

Nota-se também que, a percentagem relativa ao consumo por resfriamento tem peso consideravelmente maior em relação ao total se comparado a percentagem de consumo por iluminação artificial ou aquecimento artificial. Entretanto, em alguns casos, pelo baixo FS de vidros como o PN e o SKN, a percentagem relativa ao consumo por equipamentos tem mais influência no consumo total do que a percentagem por resfriamento, já que esses vidros transmitem menos carga térmica ao interior do modelo.

A Figura 38 apresenta as percentagens de consumo para as quatro tipologias de vidros. Por meio dessa figura, nota-se a relação entre os consumos de iluminação artificial

e condicionamento de ar. Vidros com maior FS geram maior consumo por resfriamento artificial, entretanto, nem sempre o consumo por resfriamento equivale a maior porcentagem em relação ao consumo total.

Figura 38 - Porcentagem de consumo de energia para as diferentes tipologias de vidro



As porcentagens das demais tipologias de vidros e orientações solares estão no Apêndice E, os resultados dessas tipologias indicam que o consumo de resfriamento artificial representa o maior percentual de consumo dos modelos, depois dos equipamentos, atingindo quase 60% para o vidro SP, abertura de 60% e orientação leste. A Tabela 35 representa os consumos de energia elétrica por iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais para cada mês do ano, para as três aberturas e quatro orientações para o vidro SP.

Tabela 35 - Consumos de energia elétrica por iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais para os meses do ano em kWh/m² para o vidro SinglePane

		40%				50%				60%			
		N	S	L	O	N	S	L	O	N	S	L	O
Iluminação artificial	Jan	0,21	0,21	0,23	0,21	0,21	0,21	0,22	0,20	0,19	0,20	0,20	0,19
	Fev	0,27	0,28	0,31	0,26	0,25	0,25	0,26	0,25	0,23	0,22	0,25	0,23
	Mar	0,44	0,46	0,46	0,43	0,41	0,43	0,43	0,41	0,40	0,41	0,43	0,39
	Abr	0,45	0,49	0,50	0,45	0,43	0,47	0,48	0,43	0,43	0,44	0,46	0,42
	Mai	0,50	0,61	0,55	0,52	0,47	0,56	0,53	0,48	0,47	0,51	0,52	0,46
	Jun	0,57	0,72	0,64	0,62	0,55	0,64	0,62	0,60	0,54	0,63	0,54	0,57
	Jul	0,64	0,72	0,67	0,68	0,60	0,67	0,63	0,64	0,58	0,64	0,62	0,62
	Ago	0,45	0,53	0,51	0,46	0,44	0,48	0,47	0,43	0,43	0,46	0,46	0,43
	Set	0,37	0,41	0,42	0,36	0,36	0,38	0,38	0,35	0,35	0,37	0,37	0,33
	Out	0,36	0,37	0,38	0,36	0,35	0,35	0,36	0,35	0,33	0,35	0,35	0,34
	Nov	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,24	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
	Dez	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,24	0,23	0,23	0,23	0,24	0,23
Aquecimento	Jan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fev	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mai	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
	Jun	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
	Jul	0,01	0,05	0,03	0,05	0,01	0,05	0,02	0,05	0,01	0,01	0,02	0,04
	Ago	0,01	0,08	0,03	0,06	0,01	0,06	0,02	0,05	0,00	0,00	0,02	0,03
	Set	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	Out	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Nov	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dez	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resfriamento	Jan	2,63	1,09	5,18	5,90	3,33	1,49	6,29	6,50	4,10	1,90	7,47	7,02
	Fev	2,34	0,97	4,41	4,97	2,96	1,33	5,19	5,42	3,42	1,69	6,00	5,79
	Mar	2,53	1,05	4,69	4,50	3,20	1,44	5,26	4,78	3,87	1,83	5,68	5,07
	Abr	2,53	1,05	3,34	3,02	3,20	1,44	3,61	3,24	3,87	1,83	3,89	3,46
	Mai	2,49	1,03	2,39	2,15	3,06	1,37	2,58	2,31	3,55	1,68	2,76	2,47
	Jun	1,81	0,95	1,59	1,53	2,07	1,23	1,68	1,60	2,56	1,43	1,75	1,70
	Jul	1,83	0,90	1,46	1,30	2,13	1,09	1,57	1,38	2,43	1,23	1,65	1,50
	Ago	2,12	0,83	1,70	1,45	2,60	1,05	1,90	1,60	3,18	1,27	2,07	1,75
	Set	2,30	0,94	2,51	2,23	2,82	1,26	2,83	2,48	3,32	1,58	3,08	2,74
	Out	2,63	1,09	4,32	4,09	3,32	1,49	4,86	4,46	3,98	1,90	5,34	4,83
	Nov	2,53	1,05	4,61	4,72	3,20	1,44	5,29	5,16	3,88	1,83	5,97	5,60
	Dez	2,53	1,05	4,72	4,76	3,20	1,44	5,54	5,21	3,88	1,83	6,42	5,64

O mês que resultou no maior consumo por iluminação artificial foi o mês de julho, para as três aberturas, com o maior valor para a abertura de 40% e orientação sul, cerca de 0,758 kWh/m². Nota-se que o mês de janeiro, para todas as situações apresentou os menores consumos por iluminação artificial.

Os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro acarretaram consumo de energia por aquecimento, enquanto o restante dos meses não teve consumo. Dentre os

meses que necessitam de aquecimento artificial, o maior consumo variou entre julho e agosto, com o maior consumo sendo em agosto para abertura de 40% e orientação sul, cerca de 0,08 kWh/m²/ano. Isso se justifica devido à baixa radiação solar dessa orientação e a estação de inverno, presente no mês de agosto, além de ser a menor abertura simulada.

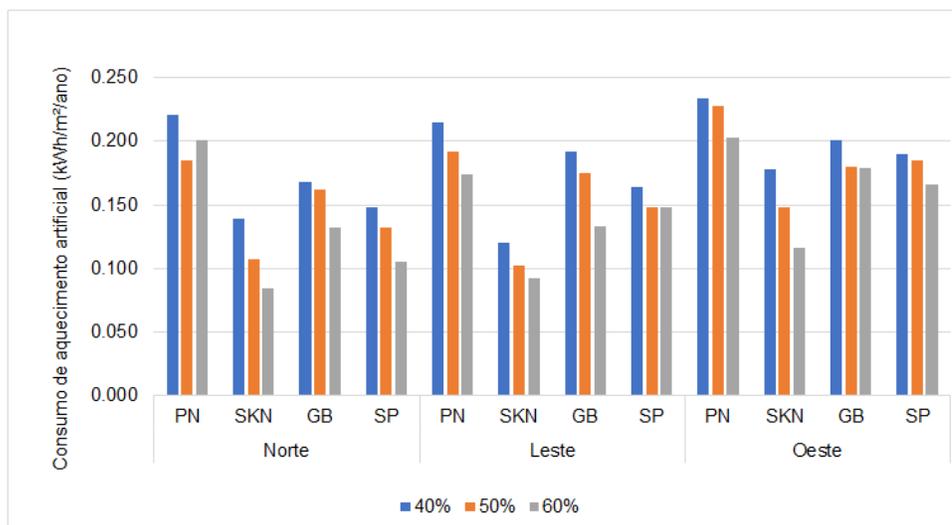
Quanto ao resfriamento artificial, os meses de janeiro em todas as situações apresentaram os maiores consumos de energia elétrica, entretanto, em algumas situações, os meses de outubro resultaram nos mesmos valores de janeiro, para orientação sul, nas três aberturas. O restante das análises para as outras tipologias de vidro se encontram no Apêndice F. Para as outras tipologias de vidros, os resultados também indicam maior consumo de iluminação artificial para os meses de julho, maior consumo de aquecimento artificial para os meses de agosto e de resfriamento artificial para os meses de janeiro.

4.4.2 Influência dos brises no consumo de energia elétrica na integração de luz natural e artificial com condicionamento de ar

Os dispositivos de sombreamento têm grande influência no consumo de energia tanto por iluminação artificial quanto resfriamento e aquecimento. Esses dispositivos desempenham um papel significativo na melhora do conforto térmico e visual dos ocupantes. Diante dos resultados das simulações de brises no consumo de energia por condicionamento artificial, têm-se a Figura 39 e a Tabela 36 que apresentam os valores de consumo por aquecimento artificial em kWh/m² ao ano para as combinações de PAF, tipologias de vidros e orientações que necessitam de sombreamento.

Nota-se que os brises, de forma geral, por permitirem menor entrada de luz solar, acarretam aumento de consumo de energia elétrica por aquecimento, conforme esperado. A influência da abertura no consumo por aquecimento é visível na redução dos valores de acordo com o aumento do percentual de abertura. Como exemplo, tem-se que a abertura de 40% apresentou os maiores consumos de aquecimento artificial para todas as orientações e tipologias de vidro, atingindo valor máximo para a orientação oeste e vidro PN, cerca de 0,25 kWh/m²/ano.

Figura 39 - Consumo de energia elétrica por aquecimento artificial para todas as tipologias de vidros e percentuais de abertura para dispositivos de sombreamento



Quanto à tipologia de vidro, vidros com maior FS permitem maior passagem de carga térmica e consomem menos energia por aquecimento artificial. Assim, o vidro PN que possui o menor FS, de 27%, acarretou maior consumo para aquecimento.

Tabela 36 - Consumos de energia elétrica por aquecimento artificial com dispositivos de sombreamento em kWh/m²/ano

Tipologias de vidros	Orientações	40%	50%	60%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	0,221	0,185	0,201
	Sul	-	-	-
	Leste	0,215	0,192	0,174
	Oeste	0,234	0,228	0,203
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	0,140	0,108	0,085
	Sul	-	-	-
	Leste	0,120	0,103	0,092
	Oeste	0,178	0,148	0,116
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	0,169	0,162	0,132
	Sul	-	-	-
	Leste	0,192	0,175	0,133
	Oeste	0,201	0,180	0,179
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	0,148	0,133	0,105
	Sul	-	-	-
	Leste	0,164	0,149	0,148
	Oeste	0,190	0,185	0,166

A Tabela 37 apresenta as porcentagens de aumento no consumo de energia elétrica dos modelos com brises em relação aos modelos sem brises, para aquecimento artificial. De acordo com a Tabela 37, os brises acarretam aumento de consumo de aquecimento, com destaque para o vidro SKN que possui os maiores percentuais de aumento no consumo, chegando a cerca de 1442,86% de aumento. Esses valores parecem consideravelmente altos, entretanto, ao se analisar o consumo em kWh/m² ao ano percebe-se que são valores relativamente baixos de consumo, aumentando de 0,07kWh/m²/ano, sem sombreamento para 0,108 kWh/m²/ano, para a orientação norte, abertura de 50% com dispositivos de sombreamento, já que o aquecimento artificial só é necessário em alguns meses do ano, como visto no tópico anterior.

Tabela 37 - Porcentagem de aumento de consumo por aquecimento artificial entre modelos sem e com dispositivos de sombreamento

Tipologias de vidros	Orientações	40%	50%	60%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	52,41%	50,41%	97,06%
	Sul	-	-	-
	Leste	27,98%	17,79%	18,37%
	Oeste	6,36%	10,68%	10,33%
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	225,58%	1442,86%	750,00%
	Sul	-	-	-
	Leste	0,84%	11,96%	43,75%
	Oeste	25,35%	39,62%	27,47%
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	302,38%	406,25%	428,00%
	Sul	-	-	-
	Leste	74,55%	118,75%	90,00%
	Oeste	6,35%	13,92%	36,64%
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	428,57%	565,00%	1400,00%
	Sul	-	-	-
	Leste	118,67%	140,32%	208,33%
	Oeste	28,38%	60,87%	93,02%

A Figura 40 e a Tabela 38 apresenta os valores de consumo de energia elétrica para resfriamento artificial com a utilização de dispositivos de sombreamento para as orientações norte, leste e oeste. Ao contrário das análises de aquecimento artificial, quanto maior a abertura de janela maior o consumo por resfriamento, conforme esperado.

Esse consumo atinge seu valor máximo para a abertura de 60%, orientação oeste e vidro SP, tendo em vista que essa tipologia de vidro permite os maiores percentuais de entrada de carga térmica, devido ao FS de 82%.

Figura 40 - Consumo de energia elétrica por resfriamento artificial para todas as tipologias de vidros e percentuais de abertura para dispositivos de sombreamento

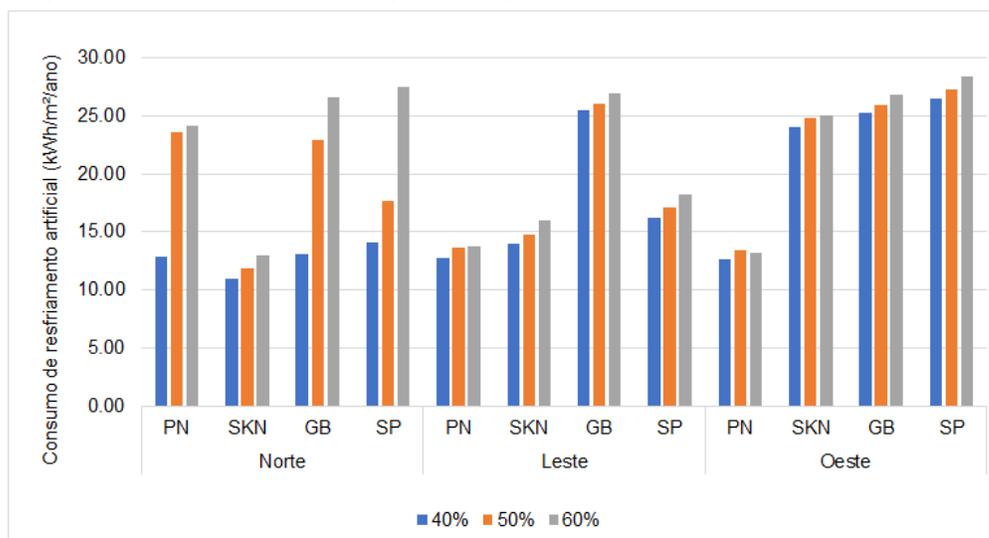


Tabela 38 - Consumos de energia elétrica por resfriamento artificial com dispositivos de sombreamento em kWh/m²/ano

Tipologias de vidros	Orientações	40%	50%	60%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	12,83	23,55	24,14
	Sul	-	-	-
	Leste	12,79	13,61	13,82
	Oeste	12,70	13,44	13,21
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	10,94	11,88	12,98
	Sul	-	-	-
	Leste	14,02	14,76	16,00
	Oeste	24,10	24,80	25,00
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	13,05	22,91	26,61
	Sul	-	-	-
	Leste	25,56	26,11	26,95
	Oeste	25,32	26,01	26,88
	Norte	14,05	17,67	27,50
	Sul	-	-	-

SinglePane FS 82% TV 88%	Leste	16,19	17,12	18,28
	Oeste	26,48	27,34	28,38

A Tabela 39 apresenta os percentuais de redução no consumo de resfriamento artificial entre os modelos sem e com dispositivos de sombreamento, para os três percentuais de abertura, quatro tipologias de vidro e três orientações.

Tabela 39 - Porcentagem de redução de consumo por resfriamento artificial entre modelos sem e com dispositivos de sombreamento

Tipologias de vidros	Orientações	40%	50%	60%
CebracePN FS 27% TV 13%	Norte	-60,97%	-31,44%	-32,53%
	Sul	-	-	-
	Leste	-58,72%	-56,40%	-57,76%
	Oeste	-54,01%	-52,72%	-59,85%
CebraceSKN FS 43% TV 76%	Norte	-44,59%	-63,86%	-62,17%
	Sul	-	-	-
	Leste	-27,46%	-45,82%	-50,60%
	Oeste	-9,80%	-17,96%	-22,06%
GuardianBlue FS 58% TV 52%	Norte	-29,25%	-9,70%	-3,49%
	Sul	-	-	-
	Leste	-14,11%	-26,81%	-38,98%
	Oeste	-28,18%	-32,45%	-34,42%
SinglePane FS 82% TV 88%	Norte	-50,29%	-49,64%	-34,59%
	Sul	-	-	-
	Leste	-60,44%	-63,25%	-64,91%
	Oeste	-34,81%	-38,08%	-40,34%

Através da utilização de dispositivos de sombreamento horizontais (para orientação norte), pode-se atingir uma redução de até 63,86% no consumo de energia elétrica por resfriamento artificial. Esse resultado pode ser comparado com a pesquisa de Evola, Gullo e Marletta (2017), que analisaram diferentes dispositivos de sombreamento e concluíram que as películas de controle solar acarretam economia de 59,80% em comparação com persianas leves internas e, que persianas externas causam diminuição de 47,70% do consumo. Já Hoffmann et al. (2016) analisaram diversas tipologias de

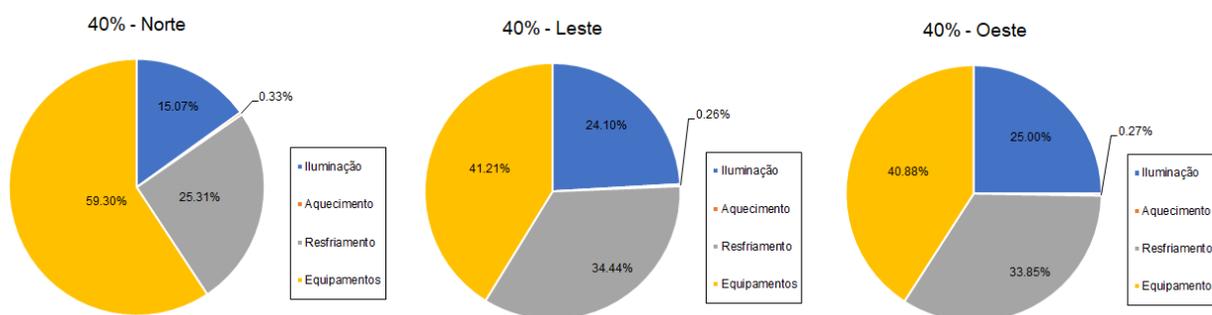
dispositivos de sombreamento e concluíram que os brises externos reduzem até 33% a intensidade do uso de energia.

A Figura 41 representa as porcentagens relativas aos consumos de energia por equipamentos, iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais, em relação ao consumo total, para o vidro GB e abertura de 40%, com dispositivos de sombreamento.

Como os dispositivos de sombreamento impedem a entrada direta dos raios solares acabam também diminuindo a entrada de carga térmica na edificação, dessa forma o consumo por resfriamento artificial passa a ser menor. Em comparação com os modelos sem sombreamento, os resultados da Figura 41 apresentam aumento dos consumos de iluminação e aquecimento artificiais e redução do consumo por resfriamento artificial.

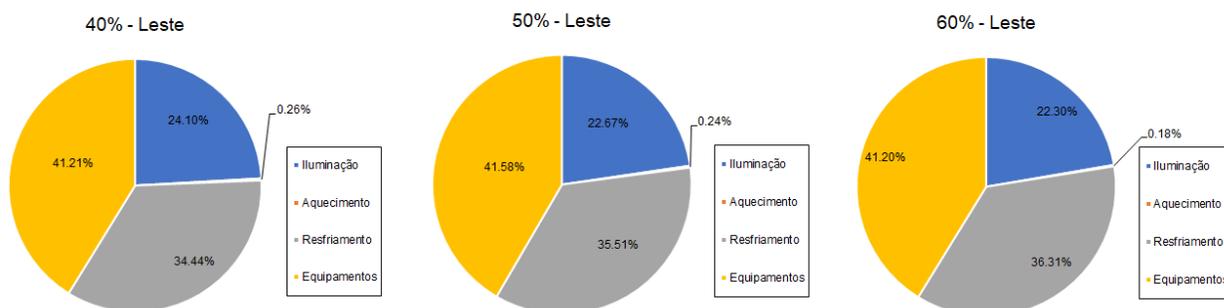
O consumo por resfriamento artificial tem grande redução com a utilização de dispositivos de sombreamento. Conforme a Figura 41, para orientação norte, os consumos de energia por resfriamento e iluminação artificial ficam próximos. Já para as orientações leste e oeste, com a utilização de sombreamento o consumo resfriamento é consideravelmente maior devido a carga térmica que adentra essas orientações.

Figura 41 - Porcentagem de consumo de energia para vidro GuardianBlue em relação as orientações solares com dispositivos de sombreamento



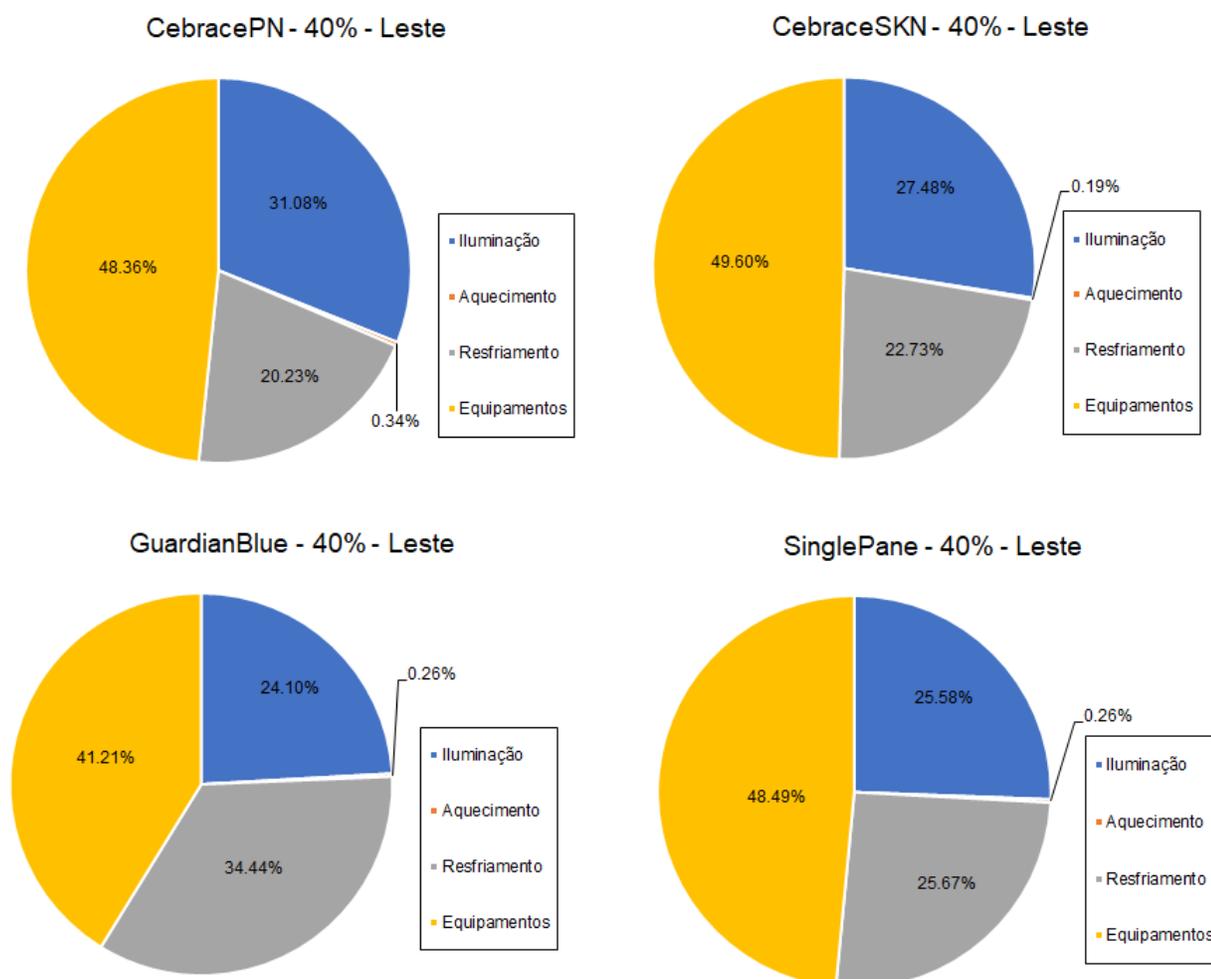
Ao se considerar o tamanho da abertura, o consumo por resfriamento aumenta com o aumento do PAF, conforme esperado e ocorrido também para os modelos sem brises. Entretanto, o brise ainda provoca redução do consumo de resfriamento se comparado a modelos sem sombreamento. A Figura 42 apresenta a comparação entre os diferentes PAF para a mesma orientação solar e tipologia de brise. Percebe-se, também, que o aumento de consumo entre as aberturas de 40% e 50% ficou próximo do aumento de consumo entre as aberturas de 50% e 60%, 1,07% e 0,80%, respectivamente.

Figura 42 - Porcentagem de consumo de energia para vidro GuardianBlue em relação aos percentuais de abertura com dispositivos de sombreamento



A Figura 43 apresenta as porcentagens de consumo de energia para iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais, em relação ao total para modelos com dispositivos de sombreamento. As mesmas considerações podem ser feitas em relação a tipologia. Tipologias com maior TV e FS permitem maior entrada de iluminação e carga térmica, respectivamente, entretanto, se comparadas com modelos sem utilização de sombreamento na abertura, acarretam menor consumo de energia elétrica para resfriamento artificial e maior consumo para iluminação artificial e aquecimento artificial.

Figura 43 - Porcentagem de consumo de energia para as diferentes tipologias de vidro com dispositivos de sombreamento



A Tabela 40 apresenta os consumos de energia elétrica de RA (resfriamento artificial), AA (aquecimento artificial) e IA (iluminação artificial) para modelos sem e com dispositivos de sombreamento, considerando os três percentuais de abertura (40%, 50% e 60%), três orientações solares (norte, leste e oeste) e quatro tipologias de vidros (PN, SKN, GB e SP).

Tabela 40 - Consumos de RA, AA e IA para modelos sem e com dispositivos de sombreamento em kWh/m²/ano

PAF	Tipologias de vidros	Orientações	Sem brise				Com brise			
			RA	AA	IA	Total	RA	AA	IA	Total
40%	PN	Norte	32,87	0,145	11,30	44,32	12,83	0,221	15,47	28,52
		Leste	30,99	0,168	12,82	43,98	12,79	0,215	19,65	32,66
		Oeste	27,62	0,220	12,85	40,69	12,70	0,234	19,90	32,83

50%	SKN	Norte	19,74	0,043	5,09	24,87	10,94	0,140	6,53	17,61
		Leste	19,32	0,119	5,70	25,14	14,02	0,120	15,45	29,59
		Oeste	26,72	0,142	5,32	32,18	24,10	0,178	16,98	41,26
	GB	Norte	18,45	0,042	5,76	24,25	13,05	0,169	7,40	20,62
		Leste	29,76	0,110	6,68	36,55	25,56	0,192	16,67	42,42
		Oeste	35,26	0,189	6,41	41,86	25,32	0,201	17,93	43,45
	SP	Norte	28,27	0,028	4,76	33,06	14,05	0,148	5,71	19,91
		Leste	40,92	0,075	5,19	46,19	16,19	0,164	14,63	30,98
		Oeste	40,62	0,148	4,85	45,62	26,48	0,190	16,16	42,83
	PN	Norte	34,35	0,12	10,54	45,01	23,55	0,19	14,21	37,95
		Leste	31,21	0,16	11,92	43,29	13,61	0,19	19,33	33,13
		Oeste	28,42	0,21	11,85	40,48	13,44	0,23	19,70	33,36
	SKN	Norte	32,88	0,01	4,83	37,72	11,88	0,11	6,53	18,52
		Leste	27,24	0,09	5,30	32,63	14,76	0,10	15,45	30,31
		Oeste	30,23	0,11	4,95	35,29	24,80	0,15	16,98	41,93
	GB	Norte	25,37	0,03	5,40	30,80	22,91	0,16	7,40	30,47
		Leste	35,68	0,08	6,15	41,91	26,11	0,18	16,67	42,96
		Oeste	38,50	0,16	5,81	44,47	26,01	0,18	17,93	44,12
	SP	Norte	35,09	0,02	4,55	39,66	17,67	0,13	5,71	23,51
		Leste	46,58	0,06	4,87	51,51	17,12	0,15	14,63	31,90
		Oeste	44,15	0,12	4,60	48,87	27,34	0,19	16,16	43,69
	PN	Norte	35,78	0,10	10,02	45,90	24,14	0,20	13,90	38,24
		Leste	32,72	0,15	11,28	44,15	13,82	0,17	19,30	33,29
		Oeste	32,91	0,18	11,15	44,24	13,21	0,20	19,66	33,08
SKN	Norte	34,32	0,01	4,68	39,01	12,98	0,08	6,15	19,22	
	Leste	32,39	0,06	5,05	37,50	16,00	0,09	15,27	31,36	
	Oeste	32,08	0,09	4,75	36,92	25,00	0,12	16,79	41,91	
GB	Norte	27,57	0,03	5,18	32,78	26,61	0,13	7,31	34,05	
	Leste	44,17	0,07	5,81	50,05	26,95	0,13	16,55	43,64	
	Oeste	40,98	0,13	5,44	46,55	26,88	0,18	17,79	44,84	
SP	Norte	42,04	0,01	4,42	46,47	27,50	0,11	5,69	33,30	
	Leste	52,10	0,05	4,67	56,82	18,28	0,15	14,39	32,81	
	Oeste	47,56	0,09	4,45	52,10	28,38	0,17	15,91	44,45	

Os resultados dessa tabela já foram apresentados anteriormente e estão repetidos aqui para simplificar o entendimento da Tabela 41, que apresenta as diferenças entre os consumos de aquecimento, iluminação e resfriamento artificiais de modelos sem brises para modelos com brises, para as tipologias PN, SKN, GB e SP e os PAFs de 40%, 50% e 60%, nas combinações de orientações solares norte, leste e oeste.

Tabela 41 - Diferenças entre os consumos de RA e AA entre modelos sem brises para modelos com brises kWh/m²/ano

PAF	Tipologias de vidros	Orientações	RA	AA	IA
40%	PN	Norte	20,04	-0,076	-4,17
		Leste	18,20	-0,047	-6,83
		Oeste	14,92	-0,014	-7,05
	SKN	Norte	8,80	-0,097	-1,44
		Leste	5,30	-0,001	-9,75
		Oeste	2,62	-0,036	-11,66
	GB	Norte	5,40	-0,127	-1,64
		Leste	4,20	-0,082	-9,99
		Oeste	9,94	-0,012	-11,52
	SP	Norte	14,22	-0,120	-0,95
		Leste	24,73	-0,089	-9,44
		Oeste	14,14	-0,042	-11,31
50%	PN	Norte	10,80	-0,062	-3,67
		Leste	17,60	-0,029	-7,41
		Oeste	14,98	-0,022	-7,85
	SKN	Norte	21,00	-0,101	-1,70
		Leste	12,48	-0,011	-10,15
		Oeste	5,43	-0,042	-12,03
	GB	Norte	2,46	-0,130	-2,00
		Leste	9,57	-0,095	-10,52
		Oeste	12,49	-0,022	-12,12
	SP	Norte	17,42	-0,113	-1,16
		Leste	29,46	-0,087	-9,76
		Oeste	16,81	-0,070	-11,56
60%	PN	Norte	11,64	-0,099	-3,88
		Leste	18,90	-0,027	-8,02
		Oeste	19,70	-0,019	-8,51
	SKN	Norte	21,34	-0,080	-1,47
		Leste	16,39	-0,028	-10,22
		Oeste	7,08	-0,025	-12,04
	GB	Norte	0,96	-0,107	-2,13
		Leste	17,22	-0,063	-10,74
		Oeste	14,10	-0,048	-12,35
	SP	Norte	14,54	-0,098	-1,27
		Leste	33,82	-0,100	-9,72
		Oeste	19,18	-0,080	-11,46

Assim, para o RA foram diminuídos os consumos dos modelos sem brises com o consumo dos modelos com brises, de forma a quantificar a diferença de consumo entre modelos sem brises para modelos com brises. O mesmo foi realizado para a IA e o AA,

os valores nesses dois casos são negativos pois representam aumento no consumo (de modelos sem brise para modelos com brise).

A Tabela 42 apresenta os consumos totais das quatro tipologias de vidro para as três aberturas e três orientações solares. Assim, ao se analisar a melhor condição para cada vidro, têm-se os seguintes resultados:

Tabela 42 - Consumo total de RA, AA e IA em kWh/m²/ano

Tipologias	Orientações	40%		50%		60%	
		Sem brise	Com brise	Sem brise	Com brise	Sem brise	Com brise
PN	Norte	44,32	28,52	45,01	37,95	45,90	38,24
	Leste	43,98	32,66	43,29	33,13	44,15	33,29
	Oeste	40,69	32,83	40,48	33,36	44,24	33,08
SKN	Norte	24,87	17,61	37,72	18,52	39,01	19,22
	Leste	25,14	29,59	32,63	30,31	37,50	31,36
	Oeste	32,18	41,26	35,29	41,93	36,92	41,91
GB	Norte	24,25	20,62	30,80	30,47	32,78	34,05
	Leste	36,55	42,42	41,91	42,96	50,05	43,64
	Oeste	41,86	43,45	44,47	44,12	46,55	44,84
SP	Norte	33,06	19,91	39,66	23,51	46,47	33,30
	Leste	46,19	30,98	51,51	31,90	56,82	32,81
	Oeste	45,62	42,83	48,87	43,69	52,10	44,45

- para o vidro PN, a melhor orientação solar sem brises é a orientação oeste, para abertura de 50%. Com brises, a melhor combinação é orientação norte e abertura de 40%. Entre essas duas soluções, a utilização de brises contribuiu com cerca de 12 kWh/m²/ano de economia de energia.

- para o vidro SKN, a melhor orientação solar sem a utilização de sombreamento é a norte com abertura de 40%. Com brises, a melhor combinação é também a orientação norte e abertura de 40%.

- para o vidro GB, a melhor combinação sem dispositivos de sombreamento é a orientação norte e PAF de 40%. Com brises é a orientação solar norte e abertura de 40%.

- para o vidro SP, a melhor orientação sem brises é a norte e PAF 40% e, a melhor orientação com brises é a norte e PAF de 40%.

Embora esse trabalho tenha considerado inúmeras tipologias de vidros combinadas com diferentes percentuais de abertura, para as quatro orientações solares principais, há ainda um déficit de condições de contorno que podem influenciar nos resultados e que não foram abrangidas aqui. Um exemplo disso seria a variação do *setpoint* de ar condicionado, tanto para resfriamento quanto para aquecimento e, as implicações dos aumentos ou reduções das faixas de temperatura, se tornando assim, sugestão para trabalhos futuros.

Um outro ponto interessante que não foi abordado nessa pesquisa seria a influência das condições de entorno das edificações, como por exemplo sombreamentos provocados por edifícios vizinhos, que podem diminuir a carga térmica necessária para ar condicionado e aumentar para aquecimento artificial. A Tabela 43 apresenta os melhores resultados de consumo para cada tipologia de vidros, de acordo com o PAF e a orientação solar, com e sem uso de sombreamento.

Tabela 43 - Combinação das melhores soluções de acordo com PAF e tipologia de vidro

PAF	Orientação solar	Sem brise	Com brise
40%	Norte	GB	SKN
	Sul	SP	-
	Leste	SKN	SKN
	Oeste	SKN	PN
50%	Norte	GB	SKN
	Sul	SP	-
	Leste	SKN	SKN
	Oeste	SKN	PN
60%	Norte	GB	SKN
	Sul	SKN	-
	Leste	SKN	SKN
	Oeste	SKN	PN

Considerando o menor consumo de energia elétrica pode se elaborar combinações das melhores soluções para cada percentual de abertura na fachada e orientações solares. Assim, considerando a utilização dos brises, o vidro SKN resultou como a melhor opção para as aberturas de 40%, 50% e 60%, para as orientações norte e leste e, o vidro PN para a orientação oeste. Já para os modelos sem utilização de dispositivos de sombreamento, o SKN resultou como melhor tipologia para as três aberturas nas

orientações leste e oeste e, o vidro GB para as orientações norte. A única orientação que diferiu foi a sul para abertura de 60%, que resultou no vidro SKN como melhor opção, em contrapartida às orientações de 40% e 50% que resultaram no vidro SP.

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas com a realização desta pesquisa. Além disso, são apresentadas as considerações finais, que tratam das limitações da pesquisa e são sugeridas indicações de trabalhos futuros.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência de tipologias de vidros e dispositivos de sombreamento nos níveis de iluminação natural e faixas úteis de iluminância para um modelo de sala de escritório, bem como a influência desses fatores no consumo de energia por iluminação artificial e condicionamento de ar, abrangendo resfriamento e aquecimento artificiais. Para alcançar o objetivo, foram realizadas simulações computacionais por meio do programa DesignBuilder.

O uso do programa computacional DesignBuilder se mostrou eficaz para a realização da pesquisa, apresentando facilidade de execução e resultados coerentes com o arquivo climático de Santa Maria – RS, que apresente características de verão muito quente e inverno com temperaturas amenas.

É notável que a especificação de diferentes tipologias de vidros apresenta influência importante na entrada de iluminação natural nos modelos, assim como nos níveis de iluminâncias úteis e porcentagens de horas do ano que atingem o mínimo especificado de 500 lux. Além disso, diferentes vidros influenciam também a demanda de consumo energético tanto de sistemas de condicionamento de ar como de iluminação artificial, em edificações comerciais e, que essa importância está relacionada com o percentual de abertura na fachada, ou seja, na área envidraçada com as características de vidro, bem como com a orientação solar da fachada.

Os resultados das simulações indicaram forte influência dos ganhos térmicos resultantes pela incidência de radiação solar, cuja intensidade tem relação direta do tipo de vidro com o percentual de abertura da fachada e, também, com a orientação solar. Esses aspectos são dependentes um dos outros e, portanto, são analisados de forma conjunta nesse trabalho. Foi observado que o consumo de energia para resfriamento artificial do modelo simulado tem preponderância sobre o consumo por aquecimento artificial e, que decisões que otimizam um consumo levam ao aumento de outro, como é o caso do aumento ou redução de aberturas, o aumento provoca redução no aquecimento

e a redução do PAF provoca aumento no consumo. O contrário ocorre para o consumo por resfriamento.

A orientação solar interfere na possibilidade ou não de incidência e penetração solar, como já esperado, constituindo-se de um agente de importância considerável no controle do consumo de energia. Em todas as orientações solares, o resfriamento artificial apresentou maior consumo se comparado com aquecimento artificial, inclusive o resfriamento artificial apresentou maior percentual de aumento de consumo de energia se comparado ao aquecimento artificial. Nas orientações de grande incidência de radiação, como leste e oeste, esta incidência se transforma em aquecimento dentro do ambiente, aumentando o consumo por resfriamento. A orientação sul é a que permite menor entrada tanto de luz solar como de carga térmica, resultando nos maiores consumos por aquecimento e iluminação artificial, embora tenha menor consumo por resfriamento.

Nota-se que com o aumento do PAF, aumenta também a importância da orientação solar, tal como ocorre com o aumento do FS do vidro. Observa-se também que, a abertura de 60% acarreta as maiores porcentagens de economia de energia por aquecimento se comparada com a abertura de 50%, em relação a abertura de 40%.

O tipo de vidro especificado apresenta influência nas condições de conforto e eficiência energética do ambiente, principalmente ao integrá-lo com diferentes orientações solares e tamanhos de abertura. Dentre as tipologias estudadas nas simulações, é notável que o vidro PN apresenta os menores consumos (FS 13%) em contrapartida o vidro SP apresentou os maiores consumos (FS 88%). É necessário também levar em consideração juntamente os valores de transmissão visível da luz e transmitância térmica, que ao somados com o fator solar, acarretam resultados intermediários e diferentes se analisados de forma individual.

Levando-se em conta o desempenho das proteções solares no consumo de energia por iluminação, nota-se o aumento do consumo por iluminação artificial entre 23,74% e 260,50% com a utilização de sombreamento nas aberturas. Já o consumo por resfriamento sofre redução entre 3,49% e 64,91%, ao contrário do consumo por aquecimento artificial, que com a utilização dos brises sofreu aumento de até 1400,00% (todavia, ao se comparar os consumos em kWh/m²/ano, esses valores se mostram

consideravelmente baixos, entre 0,007 kWh/m²/ano e 0,105 kWh/m²/ano, o que justifica a grandeza do aumento.

Assim, as presentes comparações servirão de parâmetros para novos projetos, juntamente com outras condicionantes que, da mesma forma que o consumo de energia, se mostrem importantes na determinação do conforto térmico de edifícios de escritórios, não só na zona bioclimática 2 como no restante do país.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das análises realizadas nesse trabalho, sugere-se o desenvolvimento dos seguintes temas, que em virtude das limitações encontradas nessa pesquisa, não puderam ser levados em consideração, mas que apresentam relevância ao tema:

- avaliar a influência de vidros duplos, triplos e com controle solar no consumo de energia total;
- avaliar a utilização de dispositivos de sombreamento automatizados no consumo total de energia;
- avaliar outras PAF mais favoráveis para a situação de uso de brises;
- avaliar diferentes sistemas de controle de iluminação, como sensores de presença e de geração de CO₂;
- analisar a influência de diferentes *setpoints* de resfriamento e condicionamento de ar, vinculando essa faixa de temperatura à temperatura neutra da edificação;
- avaliar a influência do entorno no consumo por iluminação artificial, aquecimento artificial e resfriamento artificial;
- avaliar a integração da ventilação natural aos sistemas de condicionamento de ar.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 – Parte 1**. Desempenho térmico de edificações - Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a.

_____. **NBR 15220 – Parte 2**. Desempenho térmico de edificações - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b.

_____. **NBR 15215-2**. Iluminação natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005.

AKERMAN, M. **Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro**. Saint-Gobain Vidros Brasil. Centro Técnico de Elaboração do Vidro – CETEV, 2000.

AKUTSU, M.; LOPES, D. Simulação do desempenho térmico de edificações. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: Pini, 1988.

ALTAN, H.; MOHELNIKOVA, J.; HOFMAN, P. Thermal and Daylight Evaluation of Building Zones. **Energy Procedia**, v. 78, p.2784-2789, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.626>.

AMORIM, C. N. D. **Iluminação natural e eficiência energética – Parte I. Estratégias de projeto para uma Arquitetura Sustentável**. Brasília, nov. 2002. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT08112012184757.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

ALLOUHI, A.; EL FOUIH, Y.; KOUSKSOU, T.; JAMIL, A.; ZERAOULI, Y.; MOURAD, Y. Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. **Journal of Cleaner Production**. P. 1-13, 2015.

ALUCCI, M. P.; CARNEIRO, C. M.; BARING, J. G. **Implantação de conjuntos habitacionais: recomendações para adequação climática e acústica**. São Paulo: IPT, 1986.

ANDREIS, C. **Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras**. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ARAÚJO, I.A.L., CABÚS, R. 2007. **Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios em cânions urbanos no trópico úmido**. In: IX Encontro nacional e V latino americano de conforto no ambiente construído, 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: ANTAC.

AROSZTEGUI, J. M. 1993. **Previsión del Desempeño Térmico del Edificio desde las Primeras Decisiones de Proyecto**. Servicio de Climatología Aplicada a la Arquitectura. Universidad de la Republica O. del Uruguay, Montevideo.

ATZERI, A.; CAPPELLETTI, F.; GASPARELLA, A. Internal versus external shading devices performance in office buildings. **Energy Procedia**, v.45, p.463-472, 2014.

BAKER, N. V; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS K. A. (1993). Daylighting in architecture – a european reference book. Commission of the European Communities. James & James Ltda. Londres.

BATRA, U.; SINGHAL, S. Optimum level of insulation for energy efficient envelope of office buildings. *International Journal Of Environmental Science And Technology*, [s.l.], v. 14, n. 11, p.2389-2398, 22 abr. 2017. **Springer Nature**. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-017-1322-2>.

BODART, M.; HERDE, A. D. Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. **Energy and Buildings**, v.34, n.5, p. 421-429, 2002.

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.

BRANDALISE, M. P. **Análise da Sensibilidade do RTQ-C Quanto à Variação da Densidade de Carga Interna**. 2015. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2017: ano base 2016**. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R. Rio de Janeiro, 2012.

CABÚS, R. C. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**. 1997. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

CARLO, J. C. Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais. 2008. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARLO, J. C.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. The Use of Computer Simulation to Establish Energy Efficiency Parameters for a Building Code of a City in Brazil. In: PASSIVE LOW

ENERGY ARCHITECTURE CONFERENCE, 20., 2003, Santiago, Chile. Proceedings... Santiago: PLEA. 2003. p. 131-138.

CARVALHO, M. M. Q.; ROVERE, E. L.; GONÇALVES, A. C. M. Analysis of variables that influence electric energy consumption in commercial buildings in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 14, n. 9, p.3199-3205, dez. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.009>.

CASTRO, A. P. A. S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste**. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP. 2006.

CAPELUTO, I. G. (2003) The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office buildings in Israel. **Building and Environment**. Volume 38, Issue 5, p. 745-752.

CAVALERI, M. P. M.; CUNHA, G. R. M; GONÇALVES, J. C. S. Iluminação natural em edifícios de escritórios: avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo. **Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.19-34, 31 mar. 2018. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v9i1.8650725>.

CHOI, S.; LEE, D.; JO, J. Lighting and cooling energy assessment of multi-purpose control strategies for external movable shading devices by using shaded fraction. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 150, p.328-338, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.030>.

CHOWDHURY, A. A.; RASUL, M. G.; KHAN, M. M. K.; **Modeling and simulation of building energy consumption: a case study on an institutional building in central Queensland, Australia**. College of Engineering and the Built Environment Faculty of Sciences, Engineering and Health Central Queensland University Rockhampton, Queensland, Australia, Building Simulation 2007.

CRAWLEY, D. B.; PEDERSEN, C. O.; LIESEN, R. J.; FISHER, D. E.; STRAND, R. K.; TAYLOR, R. D.; LAWRIE, L. K.; WINKELMANN, F. C.; BUHL, W. F.; ERDEM, A. E.; HUANG, Y. J.. EnergyPlus, A New-Generation Building Energy Simulation Program. Building simulation 99, Sixth International IBPSA Conference, Kyoto, Japão. Anais ... BS 99, CD-ROM.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC**. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

DIDONÉ, E. L.; BITTENCOURT, L. S. O impacto dos protetores solares na eficiência energética de hotéis. In: ENTAC, Fortaleza, 2008. **Anais...** Fortaleza/CE: 2008.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 139-154, 2010.

DIDONÉ, E. L.; WAGNER, A.; PEREIRA, F. O. R. Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 27-42, jul./set. 2014.

EBC. ENERGY IN BUILDINGS AND COMMUNITIES PROGRAMME. **Annex 66 Text – Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings**. 2014. Disponível em: <http://www.annex66.org/sites/default/files/pictures/EBC%20Annex%2066%20Text_0.pdf>. Acesso em: out. 2018.

ENERGYPLUS. Getting Started with EnergyPlus: Everything You Need to Know About Running EnergyPlus. EnergyPlus, set., 2007.

FASI, M. A.; BUDAIWI, I. M. Energy performance of Windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates. **Energy and Buildings**. v. 108, p. 307-316, 2015.

EVOLA, G.; GULLO, F.; MARLETTA, L. The role of shading devices to improve thermal and visual comfort in existing glazed buildings. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 134, p.346-355, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.543>.

FELIPPE, A. R. **Desempenho luminoso e energético de vidros de controle solar e dispositivos de sombreamento**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

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.

FRANZETTI, C.; FRAISSE, G.; ACHARD, G. Influence of the coupling between daylight and artificial lighting on thermal loads in office buildings. **Energy and Buildings**, v.36, n.2, p. 117-126, 2004.

GAGO, E. J.; MUNEEER, T.; KNEZ, M.; KÖSTER, H. Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 41, p. 1-13, 2015.

GARROCHO, J. S. **Luz natural e projeto de arquitetura: Estratégias para iluminação zenital em centros de compras**. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

GHISI, E.; TINKER, J.A.; IBRAHIM, S.H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.4, p.81-93. 2005.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação**: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. 1997. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

GHISI, E; TINKER, J. A. Optimising energy consumption in offices as a function of window area and room size. **Building Simulation**. Seventh International IBPSA Conference. Rio de Janeiro, 2001.

GIVONI, B. Man climate and architecture. 2 ed. London: **Applied Science Publishers**. 486p. 1976.

GÓMEZ, L. A.; LAMBERTS, R. (1995) Simulação da Influência de Algumas Variáveis Arquitetônicas no Consumo de Energia em Edifícios. III ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC 95.

GUARDIAN. Glossário, 2012. Disponível em: <http://www.sa.pt.sunguardglass.com/cs/groups/sunguardsouthamerica/documents/web_assets/gi_002781.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2018.

GUARDIAN. Glossary and Terms, 2018. Disponível em: <<https://www.guardianglass.com/commercial/ToolsandResources/Resources/GlossaryandTerms/index.htm>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

HOFFMANN, S.; LEE, E.S.; MCNEIL, A.; FERNANDES, L.; VIDANOVIC, D.; THANACHAREONKIT A. Balancing daylight, glare, and energy-efficiency goals: An evaluation of exterior coplanar shading systems using complex fenestration modeling tools. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 112, p.279-298, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.009>.

HOPKINSON, R.G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. (1975) **Iluminação Natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics**. 2018. Disponível em: <<https://www.iea.org/statistics/kwes/consumption/>>. Acesso em: set. 2018.

INMETRO. Portaria nº50 Anexo Geral V - **Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. 2013.

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. Technical Report: **Cie - 215 Standard General Sky Guide**. Viena, 2014. 10 p.

IWASHITA, J. (1999) **Estudo da iluminação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo** – Estudo de casos. In: Encontro nacional de conforto no ambiente construído, 5., 1999, Fortaleza. Anais... Fortaleza.

JENNINGS, J.; RUBINSTEIN, F.; DIBARTOLOMEO, D.; BLANC, S. 1999. **Comparison of Control Options in Private Offices in an Advanced Lighting Control Testbed**. Proceedings of the IESNA 1999 Annual Conference, New Orleans, LA. August 10–12.

KNIGHT, I. P. Measured energy savings due to photocell control of individual luminaires. **Renewable Energy**, v.15, n.1-4, p. 441-444, 1998.

KRARTI, M.; ERICKSON, P. M.; HILLMAN, T. C. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. **Building and Environment**, v.40, n.6, p. 747-754, 2005.

KREMER, A. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural**: estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis. 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

KRÜGER, E. L. **Avaliação do desempenho térmico de edificações e de soluções de condicionamento passivo por meio de test cells**. Florianópolis: UFSC, 1999.

LABEEE. **Analysis Bio**. Programa computacional desenvolvido pelo LabEEE – Laboratório de eficiência energética em edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/> >. Acesso em: 20 out. 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/procel, 2014.

LARANJA, A. C.; GAZZANEO, L. M. C.; CABUS, R. **Malha urbana, fachada e ambiente interno**: influências na iluminação natural. In: III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2009, Belém. III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética 2009, 2009.

LEÃO, M.; HUCKEMANN, V.; FISCH, M. N.; LEÃO, E. B.; KUCHEN, E. (2008, 22-24 October). Energy demand reduction applying different window areas and performance glasses in Brazil. **25th Conference on Passive and Low Energy Architecture**. Dublin.

LEE, A.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. (2001). Verificação da eficiência energética de um edifício de escritórios através de simulação computacional: estudo de caso no departamento de engenharia civil da UFSC. VII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC 2001.

LEE, J. W.; JUNG, H. J.; PARK, J. Y.; LEE, J. B.; YOON, Y. Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. **Renewable Energy**, v.50, p.522-531, fev.2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.029>.

LI, D. H. W. A review of daylight illuminance determinations and energy implications. **Applied Energy**. v. 87, 2109-2118, 2010.

LI, D. H. W.; LAM, J. C. Measurements of solar radiation and illuminance on vertical surfaces and daylighting implications. **Renewable Energy**, v.20, n.4, p. 389-404, 2000.

LI, D.H.W., WONG, S.L., TSANG, C.L, CHEUNG, G. H.W. (2006). A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. **Energy and Buildings**.

LINDELÖF, D.; MOREL, N. 2006. A field investigation of the intermediate light switching by users. **Energy and Buildings**, 38(7):790–801.

LITTLEFAIR, P. (1988). Passive solar urban design: ensuring the penetration of solar energy into the city. **Building Research Establishment**, Garston, Watford, WD2 7JR, U.K.

LITTLEFAIR, P. (2001). Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. **Solar Energy**. Volume 70, Issue 3, 2001, p. 177-185.

LOMAS, K. J; FIALA, D; COOK, M. J; CROPPER, P.C. Building bioclimatic charts for non-domestic buildings and passive draught evaporative cooling. **Building and Environment**, [S.l.], n. 39, p. 661 – 676, 2004.

MALHEIROS, Fabiane van Ass. **Desempenho térmico de pavilhões industriais: estudo de caso em Panambi/RS**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal e Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MARDALJEVIC, J. Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. **Lighting Research And Technology**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.111-118, 1 jan. 2000. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/096032710003200302>.

MARDALJEVIC, J.; NABIL, A. 2005. **The useful daylight illuminance paradigm: A replacement for daylight factors**. Institute of Energy and Sustainable Development (IESD), Leicester, Reino Unido.

MARQUES, A. M. **Desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social: estudo de casos em Imbituba – SC**. 2008. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MARSH, A. (2005). A computational approach to regulatory compliance. In: Building simulation; 9., 2005, Montreal. Proceedings... Montreal: IBPSA.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA, J. A. B. da N. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. In: Ambiente Construído. v.5, n.4, p.47-68. Porto Alegre, 2005. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ISSN: 1415-8876. Recebido em: 10/11/04. Aceito em: 29/05/05. 2005.

MOESEKE G.; BRUYERE I.; HERDE A. D. Impact of control rules on the efficiency of shading devices and free cooling for office buildings. **Building and Environment** 2007; 42:784-93.

MOON P.; SPENCER, D. E. 1942. Illumination from a non-uniform sky. **Illum. Eng. (N.Y.)**. 37:707–726.

MOREIRA, C. da S., GHISI, E., LAMBERTS, R., SANTANA, M. V. **Estudo sobre o padrão de ocupação e de uso de equipamentos em escritórios localizados em Florianópolis-SC**. In: Encontro de Conforto no Ambiente Construído e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC-ELACAC, Maceió, Alagoas, 2005. Anais... Maceió/AL. 2005.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research & Technology**, v. 37, n. 1, p.41-57, mar. 2005. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1191/1365782805li128oa>.

NETO, E. P. **Cor e iluminação nos ambientes de trabalho**. São Paulo: Liv. Ciência e Tecnologia, 1980. 131 p.

NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. de; SANTO, A. D.; PIDERIT, M. B. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, v. 15, p. 7-23, 2015.

OLGYAY, V. **Design with climate**. Princeton University Press, New Jersey: [s.n.], 1963.

ONAYGIL, S.; GULER, O. Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control systems with an example from Istanbul. **Building and Environment**, v.38, n.7, p. 973-977, 2003.

ORAL, G. K.; YENER, A. K.; BAYAZIT, N. T. (2004) Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. **Building and Environment**, London, v. 39, p. 281-287.

PACHECO, M. T. G. Ventilação natural e climatização artificial: crítica ao modelo superisolado para residência de energia zero em Belém e Curitiba. 2013. 274 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PAPAKOSTAS, K.; KYRIAKIS, N. Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece. **Renewable Energy**, [S.l.], v. 30, p. 1873-1990, 2005.

PAPST, A. L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical, estudo de caso em Florianópolis – SC**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

PAPST, A. L.; LAMBERTS, R. **Comparação do desempenho térmico de três ambientes residenciais naturalmente ventilados em Florianópolis, sul do Brasil**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2002. Anais... Foz do Iguaçu: ENTAC, 2002.

PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B. de. **Iluminação**. Florianópolis. Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e em Construção Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Apostila de Conforto Ambiental, 2005.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and buildings**, [S.l.], v. 43, p. 3391–3399, 2011.

POGERE, A. **Estudo de átrios como elementos condutores de iluminação natural**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

POIRAZIS H.; BLOMSTERBERG A.; WALL M. Energy simulations for glazed office buildings in Sweden. **Energy and Buildings** 2008;40:1161-70.

PROCEL. PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de iluminação**. Eletrobrás: Rio de Janeiro, 2011.

RAMOS, G. **Análise da iluminação natural calculada por meio do programa Energyplus**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

RATTI, C.; BAKER, N.; STEEMERS, K. (2005). Energy consumption and urban texture. **Energy and Buildings**, V.37, p. 762-776.

REINHART, C. F. Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. **Solar Energy**, v. 77, n. 1, p.15-28, 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.003>.

REINHART, C. F. 2005. **A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylit zone depth rule-of-thumb**. In: INTERNATIONAL BUILDING SIMULATIONS CONFERENCE, 9., Montreal, Canada, 2005. Proceedings... Montreal: IBPSA, p. 1011-1018.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **LEUKOS**, v. 3, n. 1, p.7-31, 2006. doi: 10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Institute for research in Construction National Research Council Canada, Canada. 2006.

REINHART, C. F.; VOSS, K. 2003. Monitoring Manual Control of Electric Lighting and Blinds. **Lighting Res Tech.** 35(3):243–260.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural.** 2ª ed. São Paulo: DC Luzzatto Editores Ltda, 1986.

ROBBINS, C. L. 1986. **Daylighting: design and analysis.** Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York.

ROISIN, B.; BODART, M.; DENEYER, A; D'HERDT, P. Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption. **Energy and Buildings**, v.40, n.4, p. 514-523, 2008.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Assessing window area and potential for electricity savings by using daylighting and hybrid ventilation in office buildings in southern Brazil. **Simulation-Transactions of The Society for Modeling and Simulation International**, v. 93, p. 935-949, 2017.

SANTANA, M. V. **Influência de Parâmetros Construtivos no Consumo de Energia de Edifícios de Escritório Localizados em Florianópolis – SC.** Florianópolis, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SHEHABI, A.; DEFOREST, N.; MCNEIL, A.; MASANET, E.; GREENBLATT, J.; MALHEIROS, E. S.; MASSON, G.; HELMS, B.; MILLIRON, D. J. U.S. energy savings potential from dynamic daylighting control glazings. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 66, p.415-423, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.013>.

SINGH, M. K; MAHAPATRA, S; ATREYA, S. K. Bio-climatic chart for different climatic zones of northeast India. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLAR RADIATION AND DAY LIGHTING, 3. **Proceedings...** New Delhi, India, 2007.

SOLEMMA LLC. **Diva for Rhino: Environmental Analysis for Buildings.** v. 4.0. Disponível em: <<http://diva4rhino.com/>>. Acesso em: set. 2018.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para a economia de energia elétrica.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SZOKOLAY, S. V. **Environmental Science Handbook.** Lancaster: The Construction Press, 1980.

TOLEDO, B. G. **Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para projeto luminotécnico.** 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

TREGENZA, P. R. 1995. Mean Daylight Illuminance in Rooms Facing Sunlit Streets **Building and Environment**, Vol. 30, No. 1, p. 83-89.

UNITED NATIONS. Transforming the World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Nova York: United Nations, 2015. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

UNVER, R. (2008) **Prediction of daylight availability for obstructed interiors in Istanbul**. Balkan Light 2008. The 4th Balkan Conference on Lighting, Ljubljana.

UTZINGER, M; WASLEY, J. H. **Building Balance Point**. Milwaukee: Johnson Controls Institute for Environmental Quality in Architecture, School of Architecture and Urban Planning, University of Wisconsin-Milwaukee, 1997. 99 p.

VEFAGO, L. H. M. **Fachadas pré-fabricadas em argamassa reforçada com fibra de vidro em três estudos de caso na grande Porto Alegre**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). UFSC, Florianópolis, 2006.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Virtus s/c Ltda, 2001.

WALDRAM, P. J. 1909. A Standard of Daylight Illumination of Interiors. **Illum. Eng.**, 2:469.

WALDRAM, P. J. 1950. **A Measuring Diagram for Daylight Illumination**. Edited by B T Batsford Ltd, London.

WESTPHAL, F. S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. 2007. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis. In: **Building Simulation**, 9, 2005, Montreal, Proceedings... IBPSA. Artigo Aceito.

WINKELMANN, F; SELKWITZ, S. Daylighting simulation in the DOE-2 building energy analysis program. **Energy and Buildings**, Vol8. p.271-286. 1984.

WONG N. H.; ISTIAJI, A. D. Effect of external shading devices on daylighting penetration in residential buildings. **Lighting Research and Technology** 2004; 36:317-33.

ZÓFOLI, G. R. **Contribuição termo-energética dos fechamentos transparentes em edifícios comerciais climatizados artificialmente em Santa Maria - RS**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

APÊNDICE A

A seguir são apresentados os mapas de UDI para as quatro tipologias de vidros e quatro orientações solares, para as três aberturas simuladas, considerando somente iluminação natural.

Figura 44 - Mapa de UDI para o vidro CebracePN, 40%, para todas as orientações

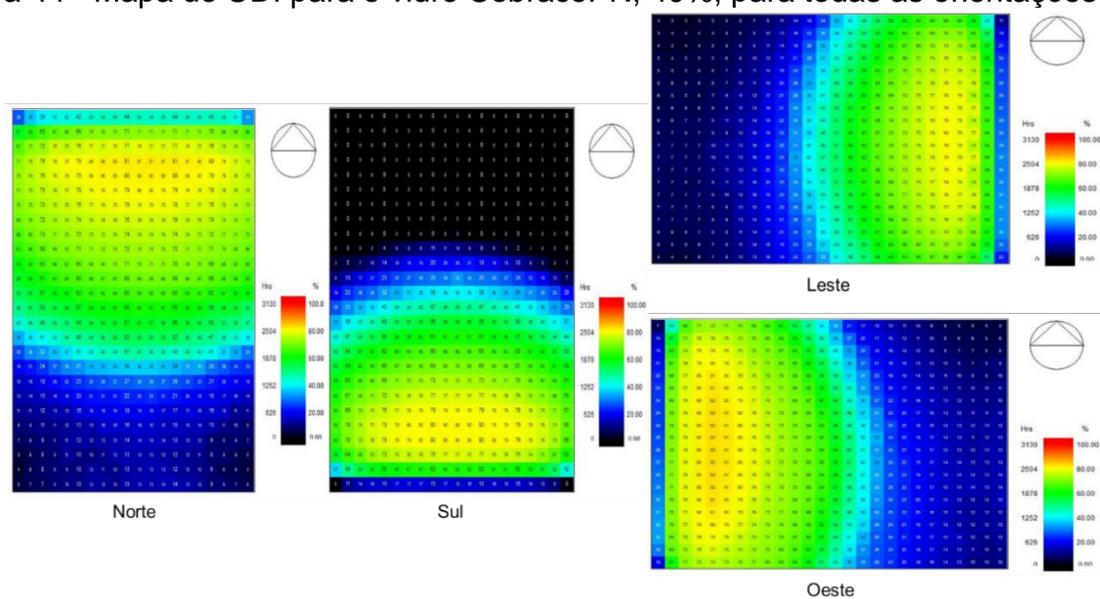


Figura 45 - Mapa de UDI para o vidro CebraceSKN, 40%, para todas as orientações

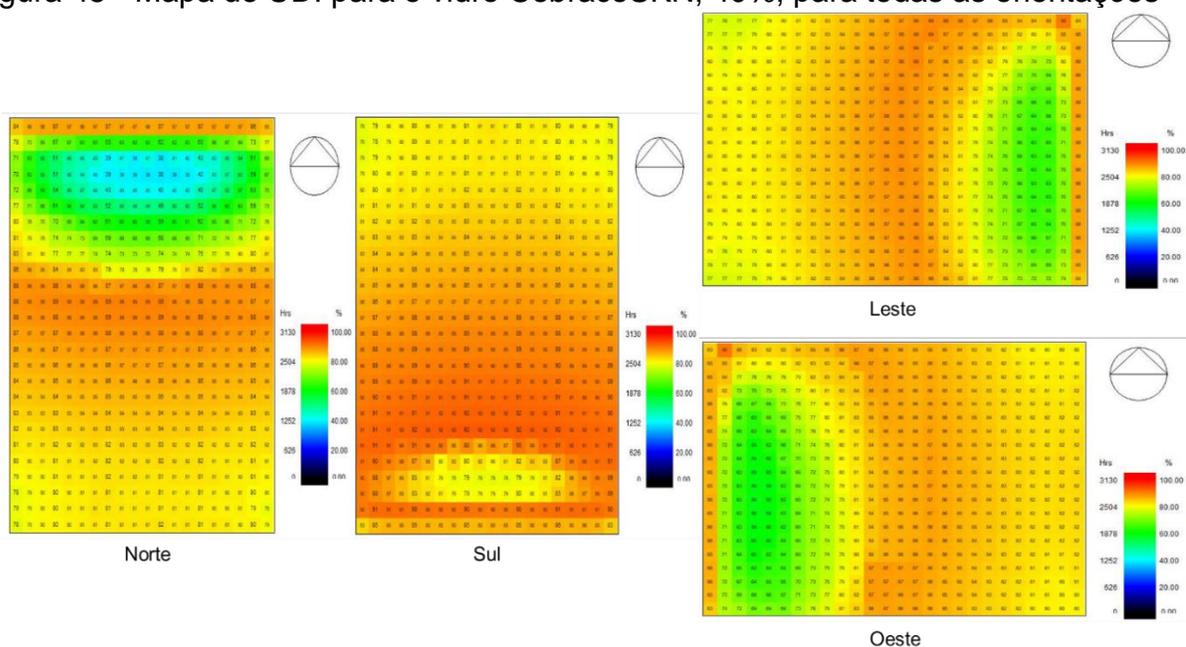


Figura 46 - Mapa de UDI para o vidro GuardianBlue, 40%, para todas as orientações

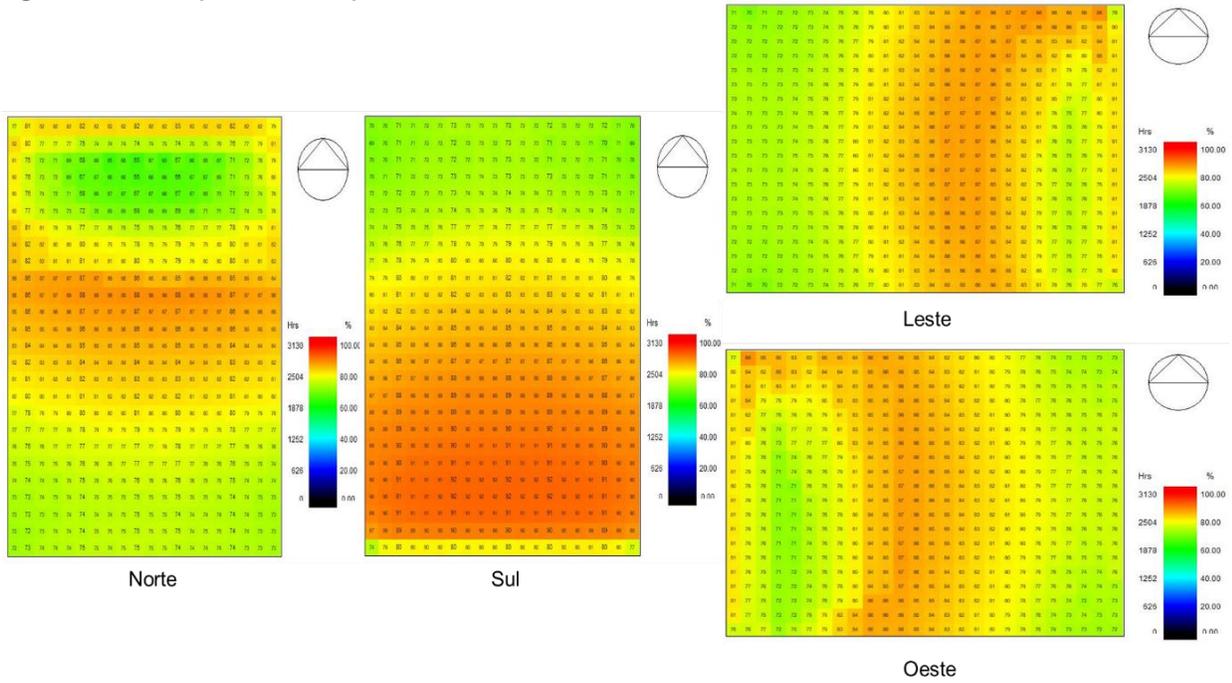


Figura 47 - Mapa de UDI para o vidro CebracePN, 50%, para todas as orientações

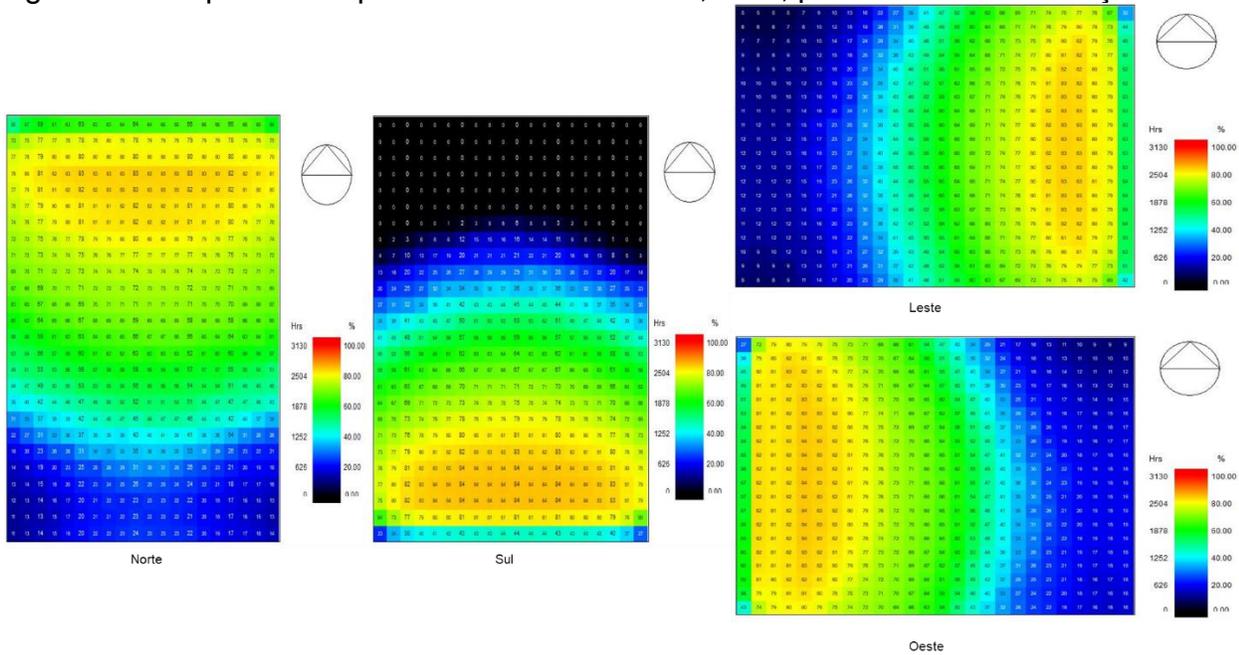


Figura 48 - Mapa de UDI para o vidro CebraceSKN, 50%, para todas as orientações

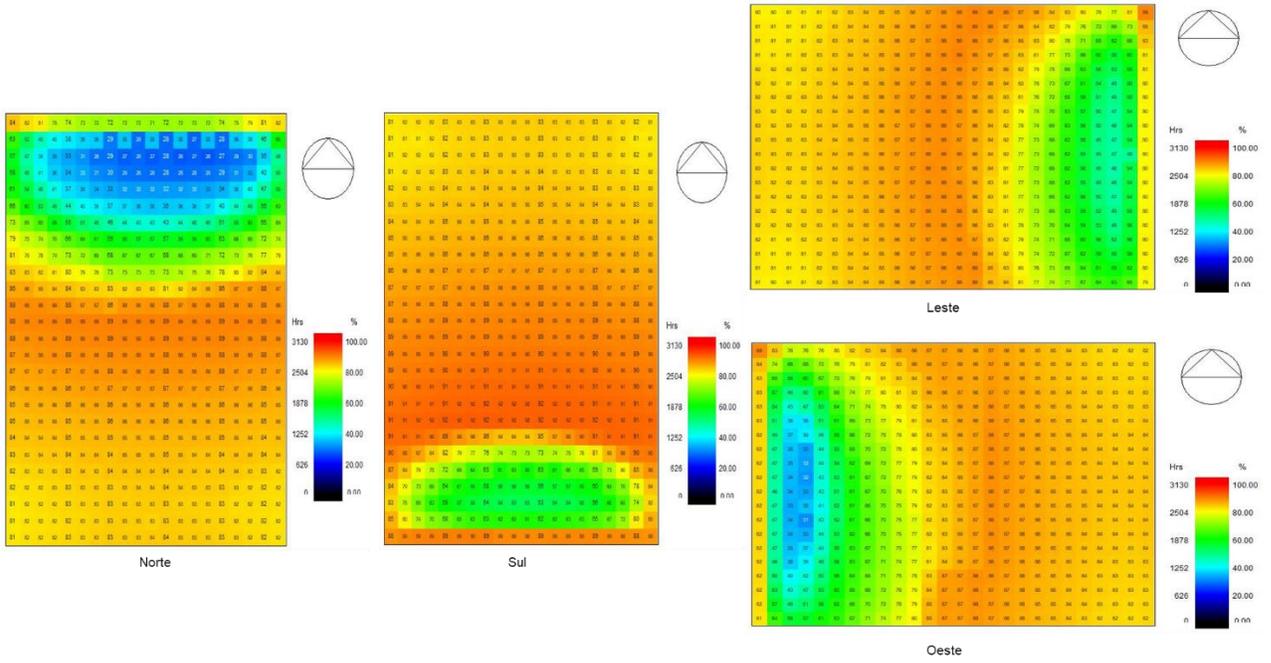


Figura 49 - Mapa de UDI para o vidro GuardianBlue, 50%, para todas as orientações

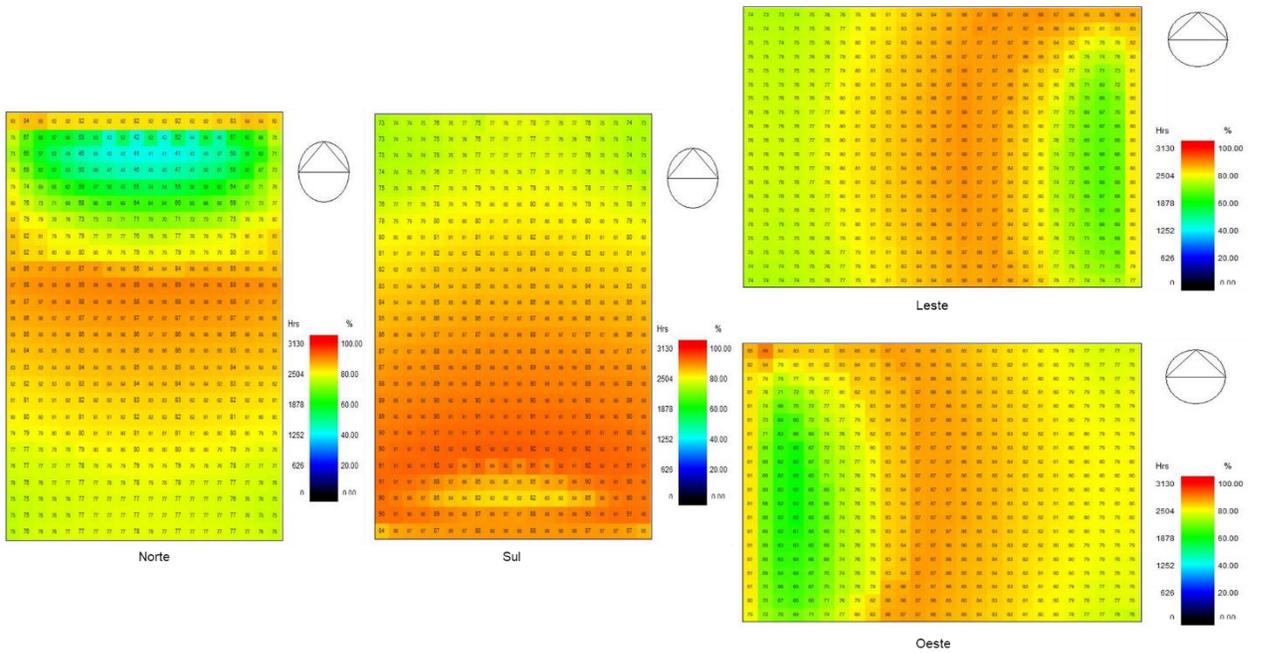


Figura 50 - Mapa de UDI para o vidro SinglePane, 50%, para todas as orientações

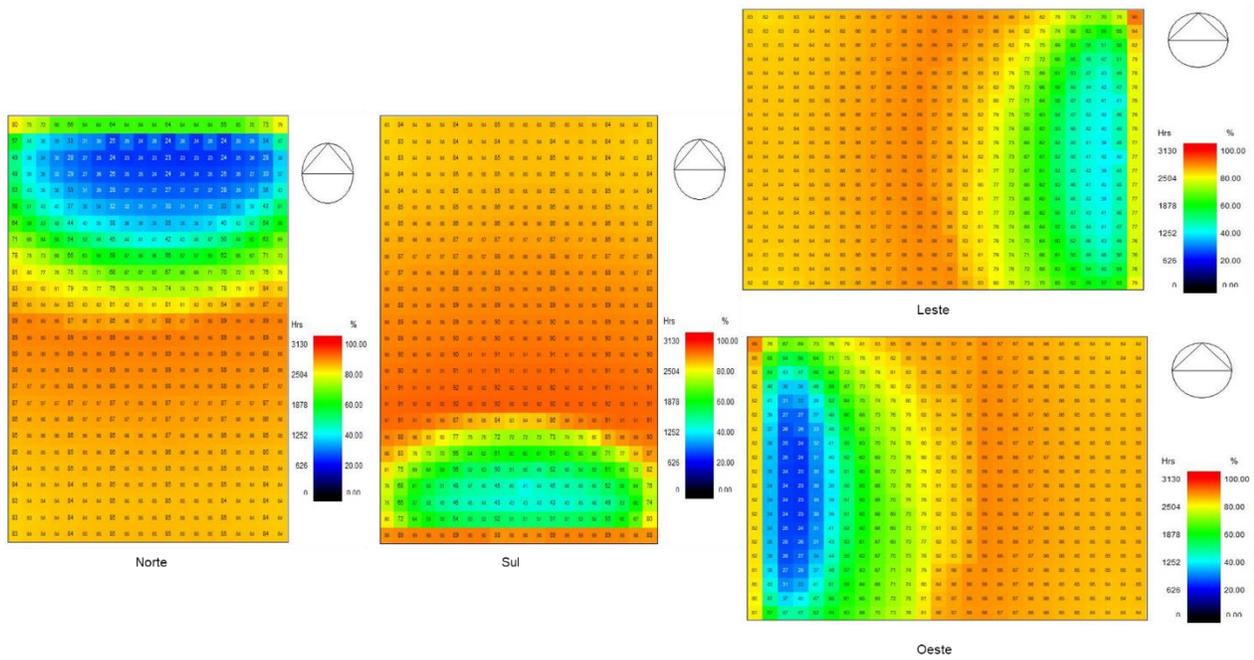


Figura 51 - Mapa de UDI para o vidro CebracePN, 60%, para todas as orientações

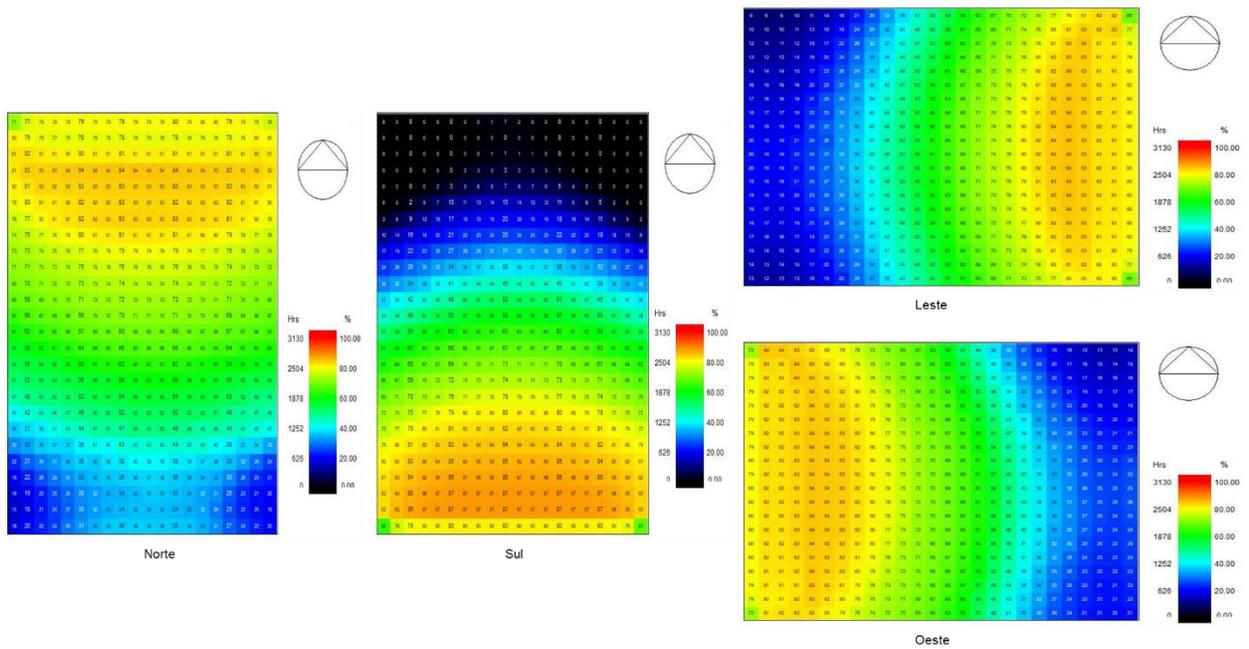


Figura 52 - Mapa de UDI para o vidro CebraceSKN, 60%, para todas as orientações

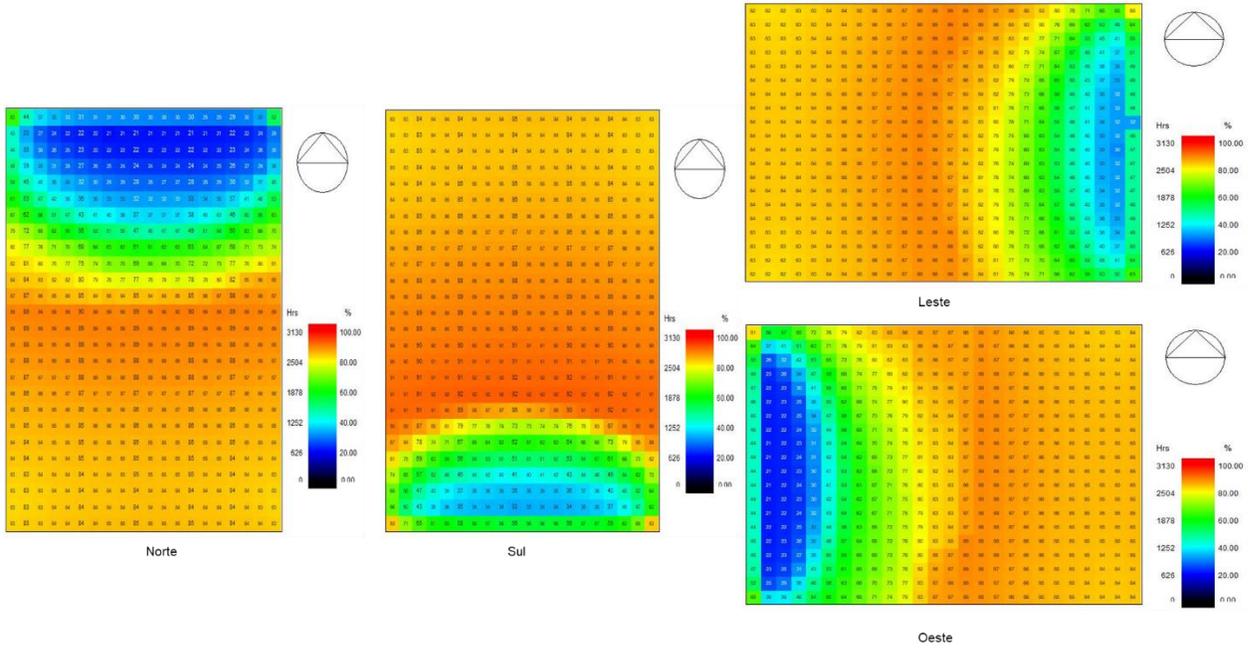


Figura 53 - Mapa de UDI para o vidro GuardianBlue, 60%, para todas as orientações

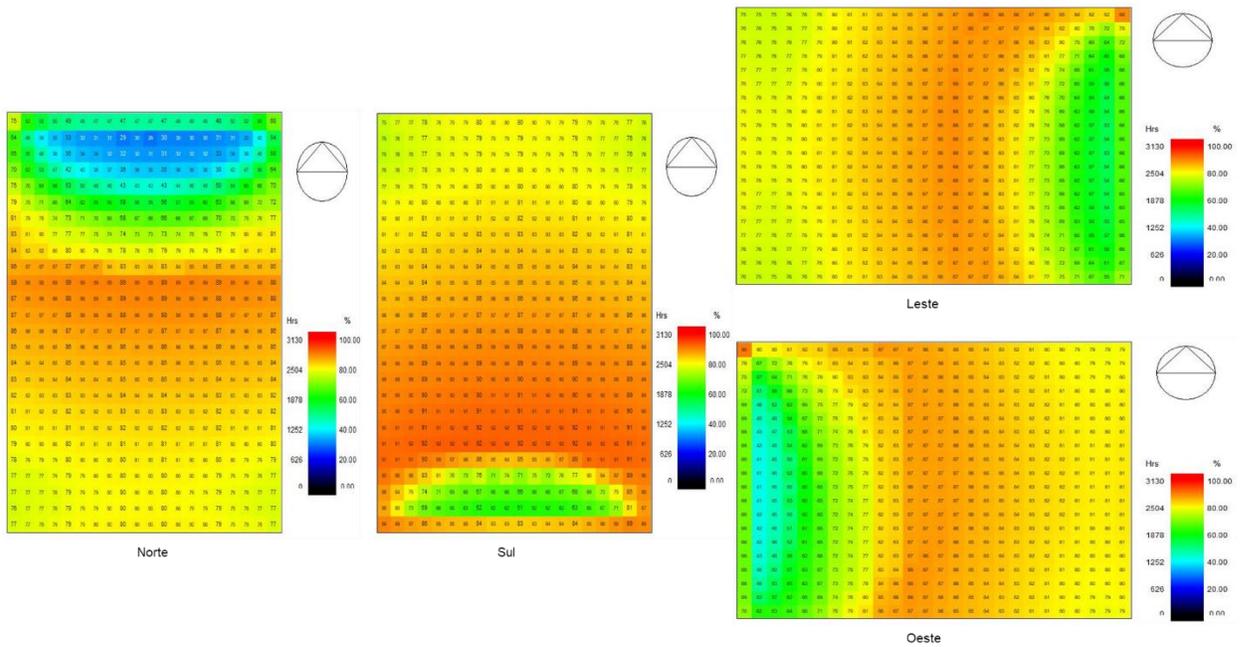
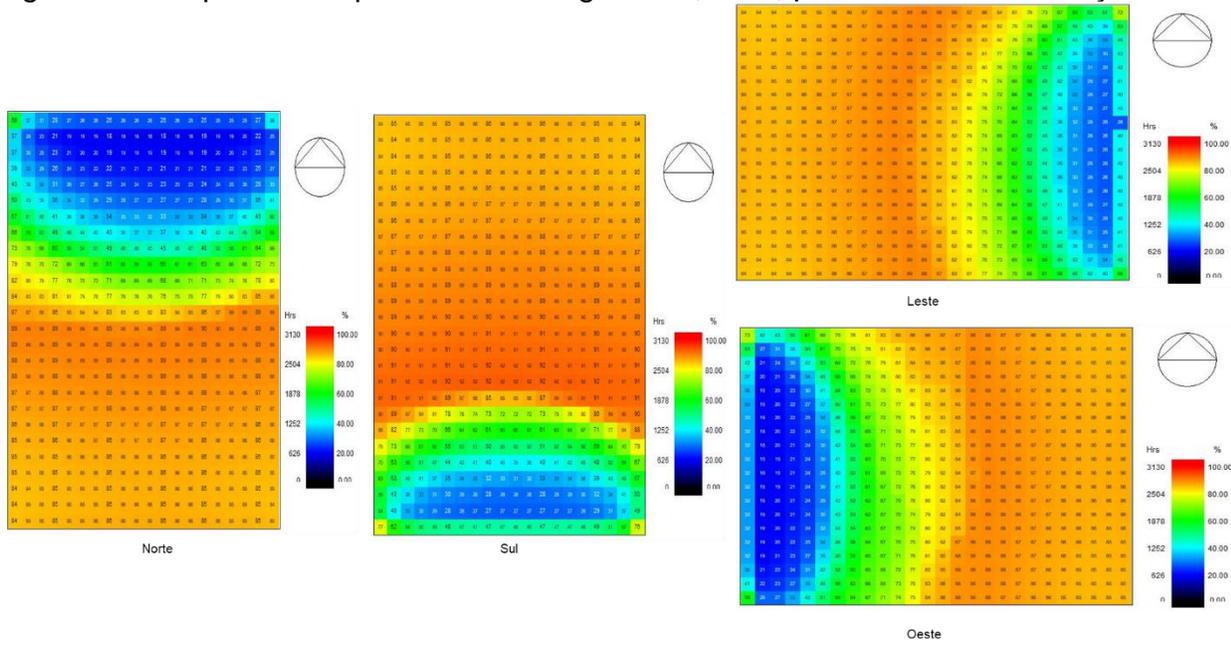


Figura 54 - Mapa de UDI para o vidro SinglePane, 60%, para todas as orientações



APÊNDICE B

Figura 55 - Mapas de iluminância para abertura 40% e vidro CebracePN

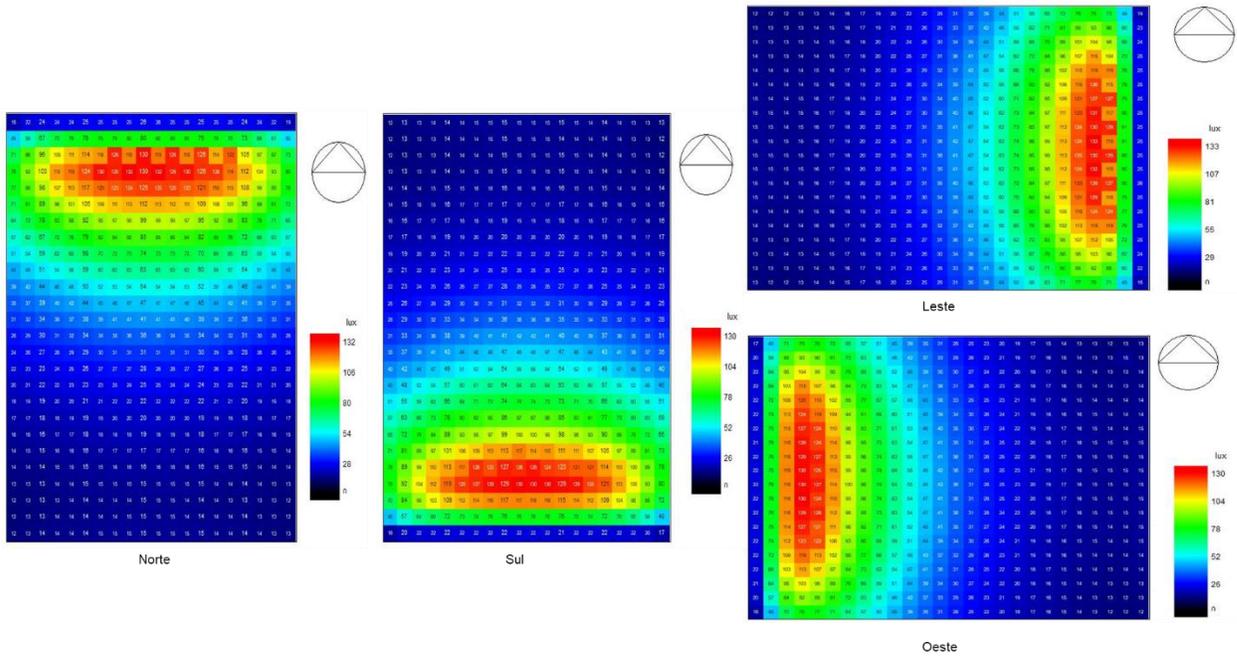


Figura 56 - Mapas de iluminância para abertura 40% e vidro CebraceSKN

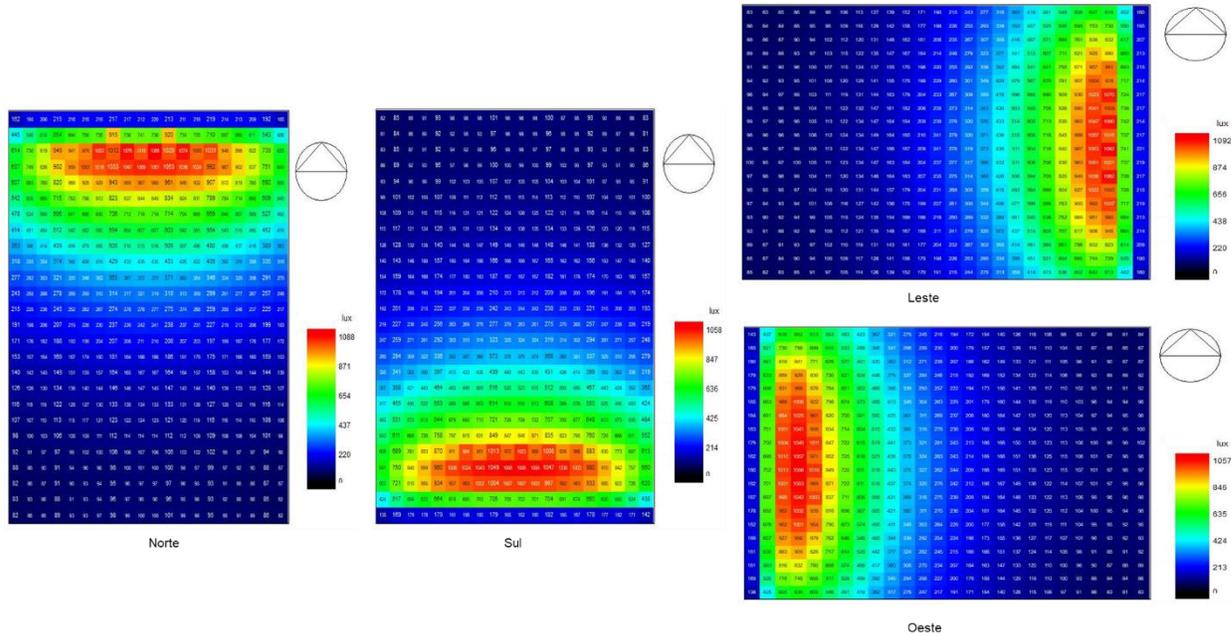


Figura 57 - Mapas de iluminância para abertura 40% e vidro GuardianBlue

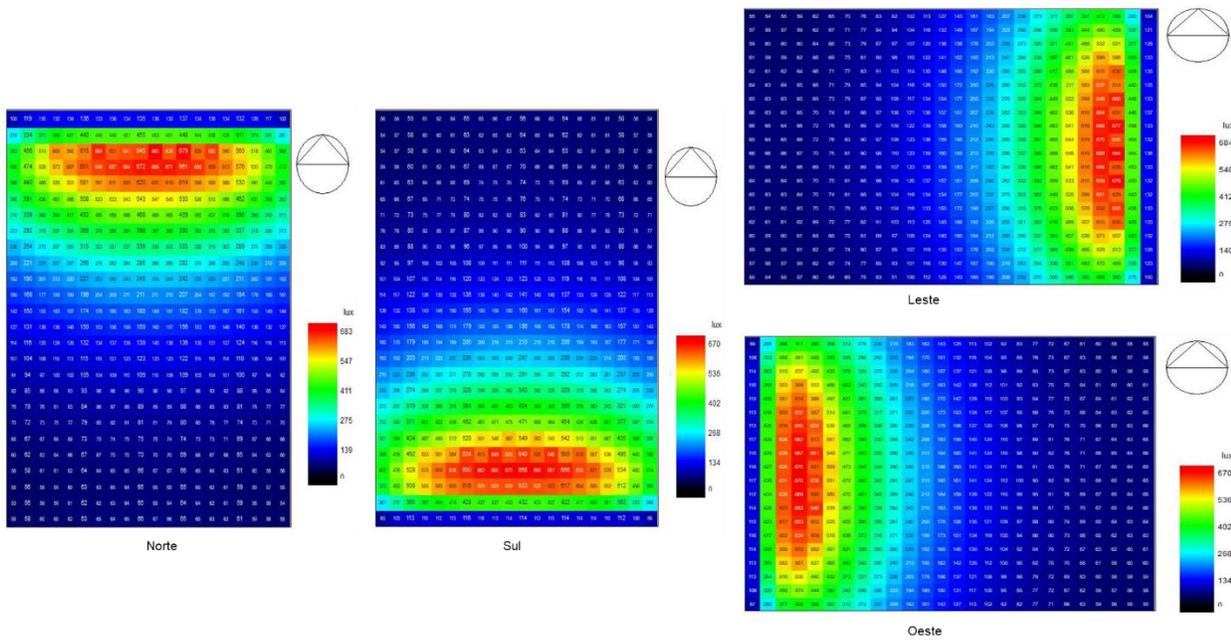


Figura 58 - Mapas de iluminância para abertura 50% e vidro CebracePN

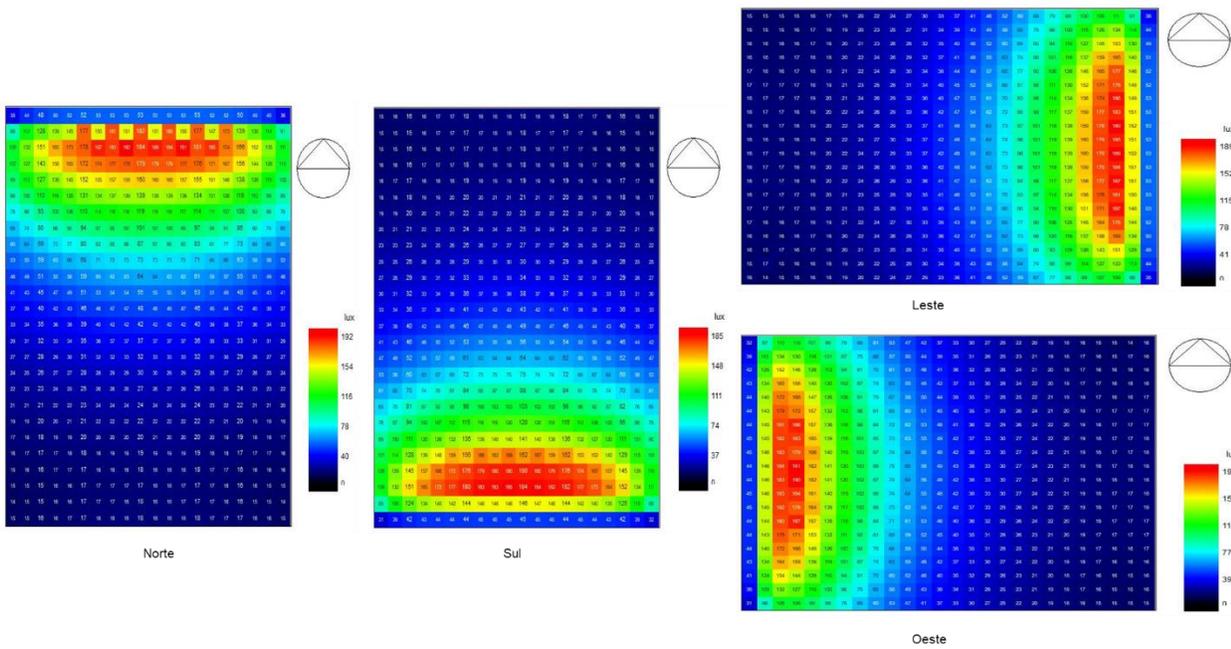


Figura 59 - Mapas de iluminância para abertura 50% e vidro CebraceSKN

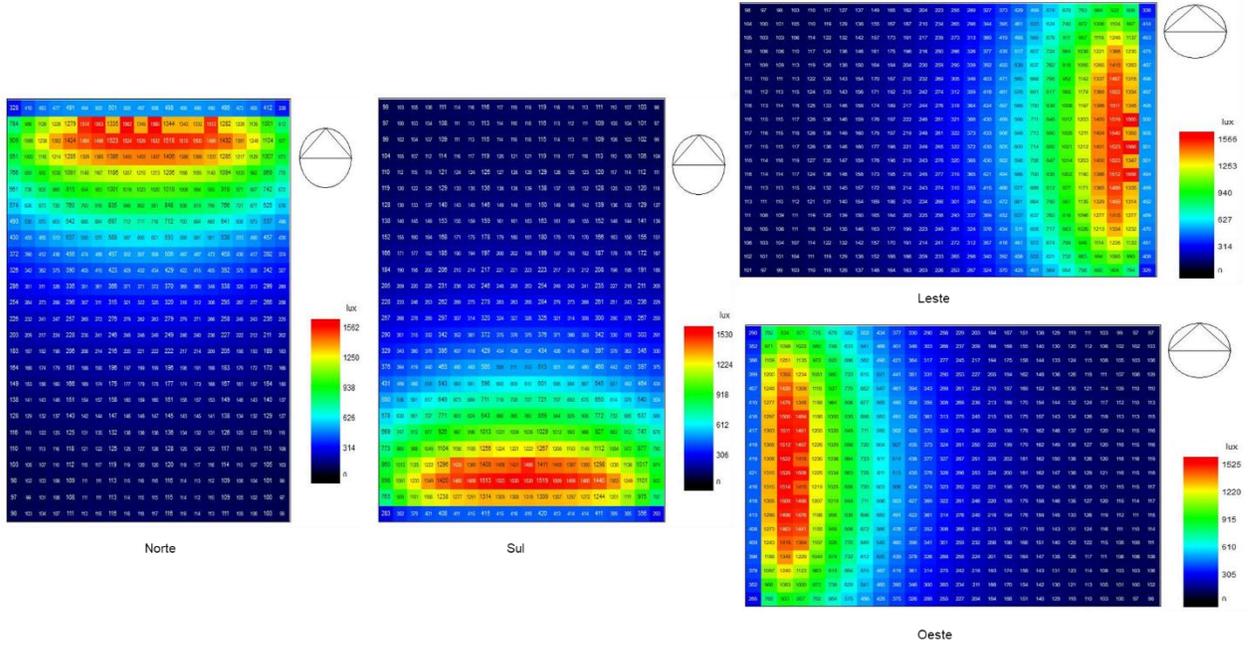


Figura 60 - Mapas de iluminância para abertura 50% e vidro GuardianBlue

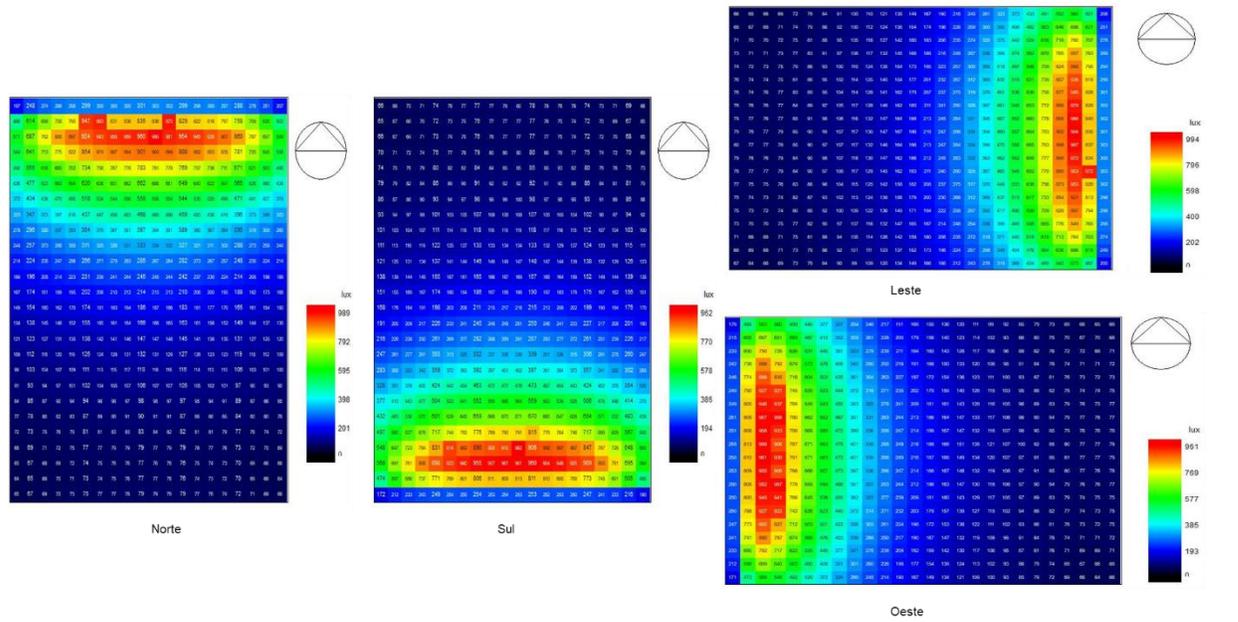


Figura 61 - Mapas de iluminância para abertura 50% e vidro SinglePane

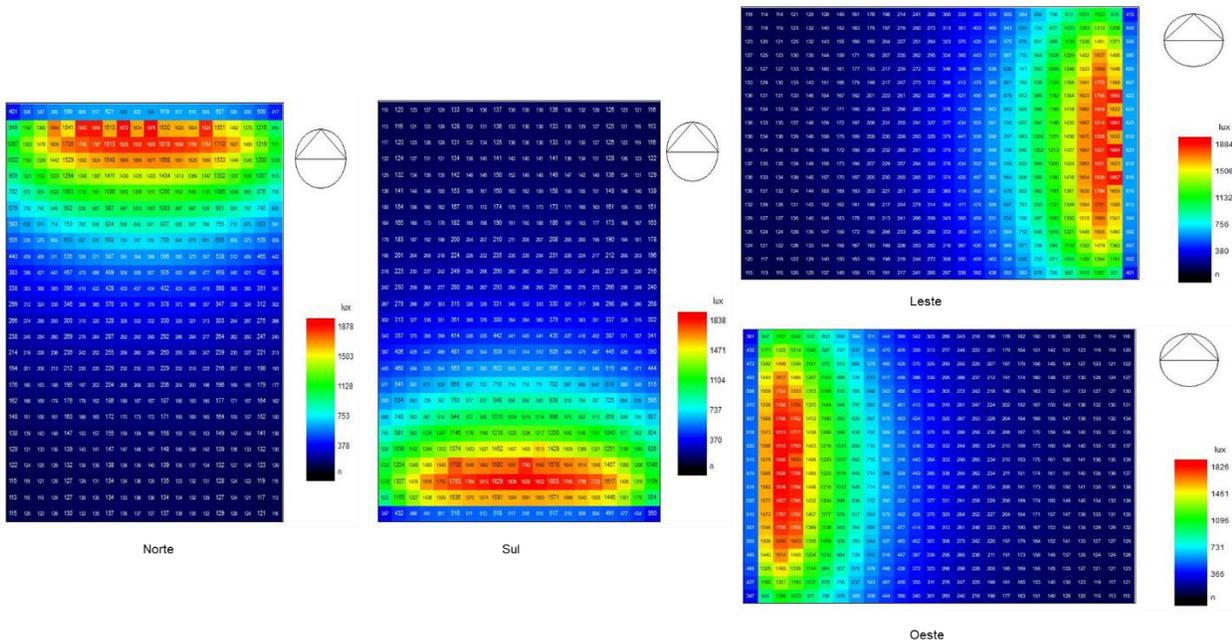


Figura 62 - Mapas de iluminância para abertura 60% e vidro CebracePN

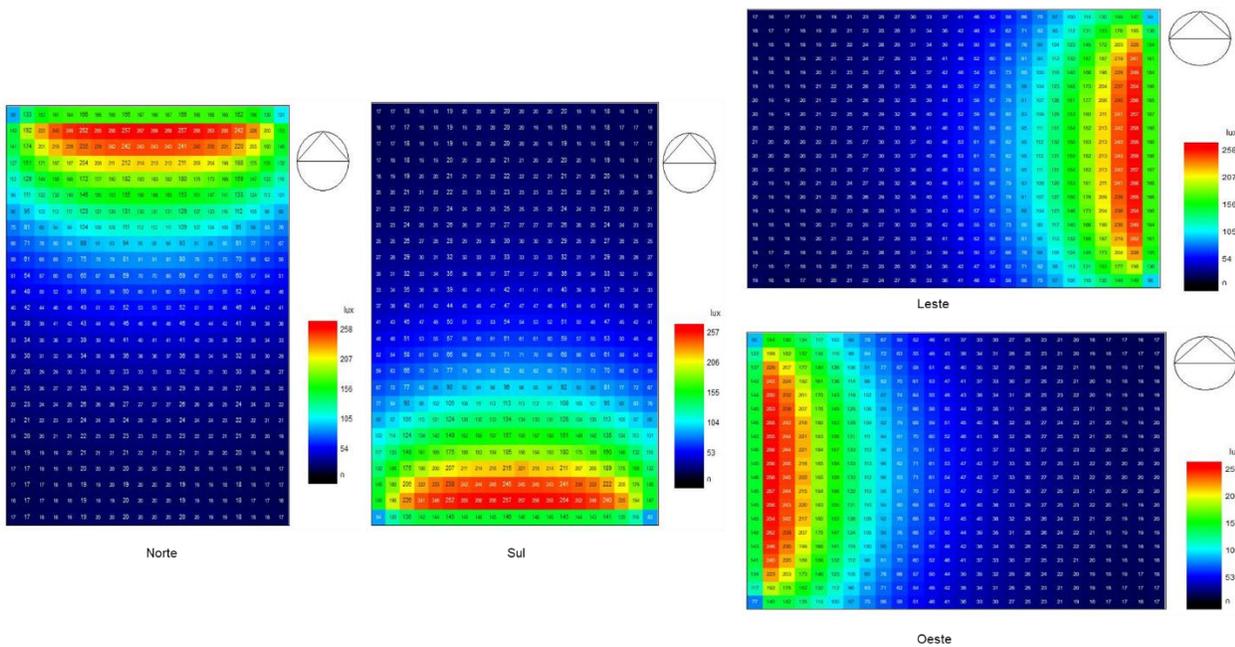


Figura 63 - Mapas de iluminância para abertura 60% e vidro CebraceSKN

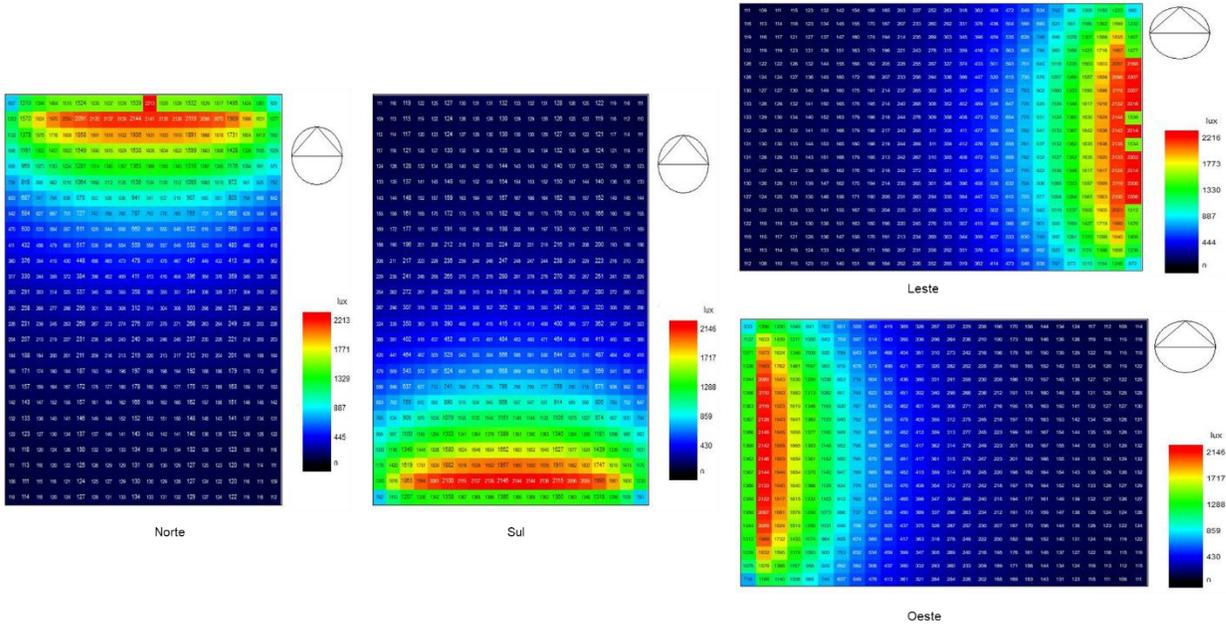


Figura 64 - Mapas de iluminância para abertura 60% e vidro GuardianBlue

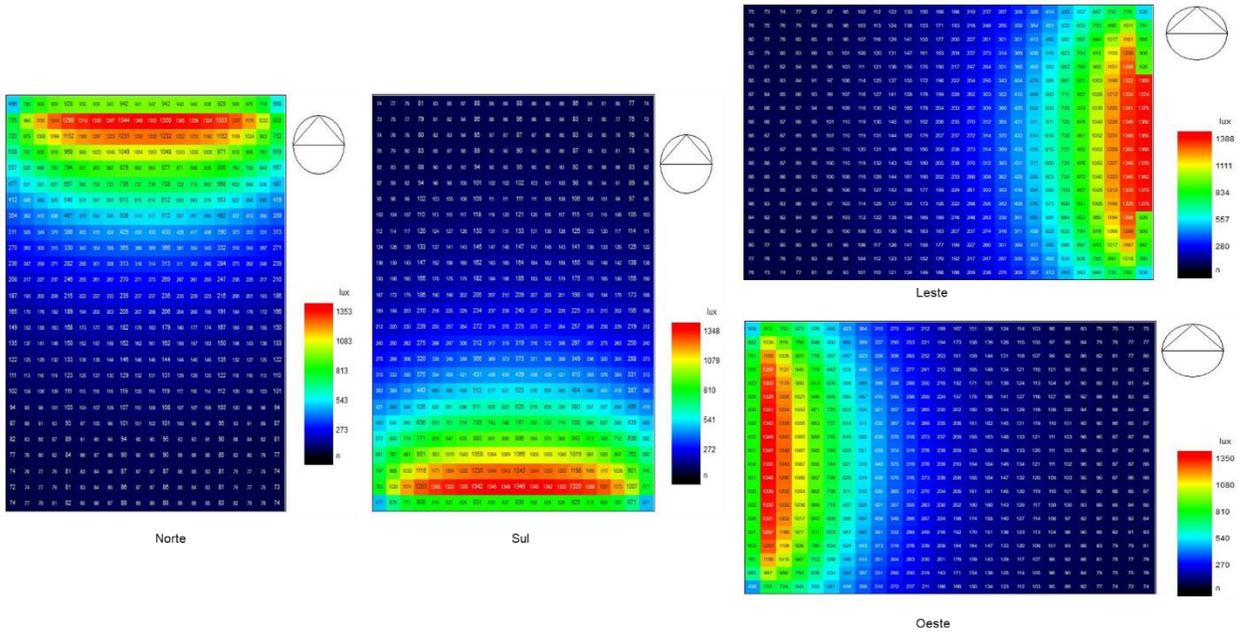
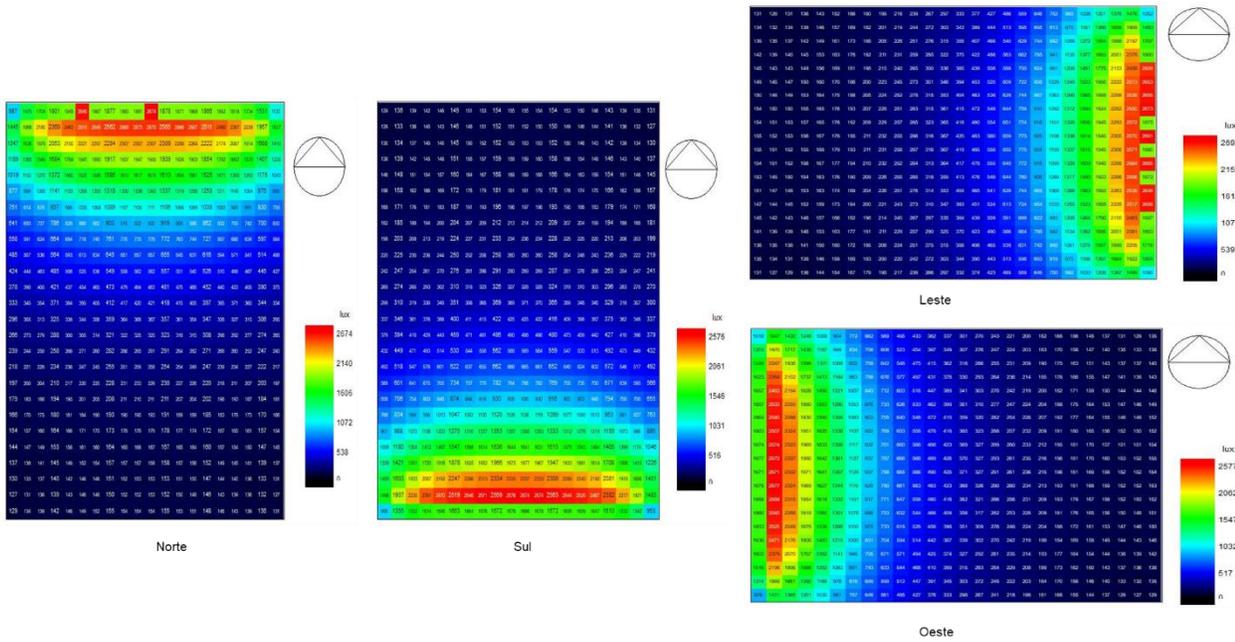


Figura 65 - Mapas de iluminância para abertura 60% e vidro SinglePane



APÊNDICE C

A seguir estão os mapas de UDI com brises para iluminação natural.

Figura 66 - Mapas de UDI para vidro CebracePN e orientação norte com dispositivos de sombreamento

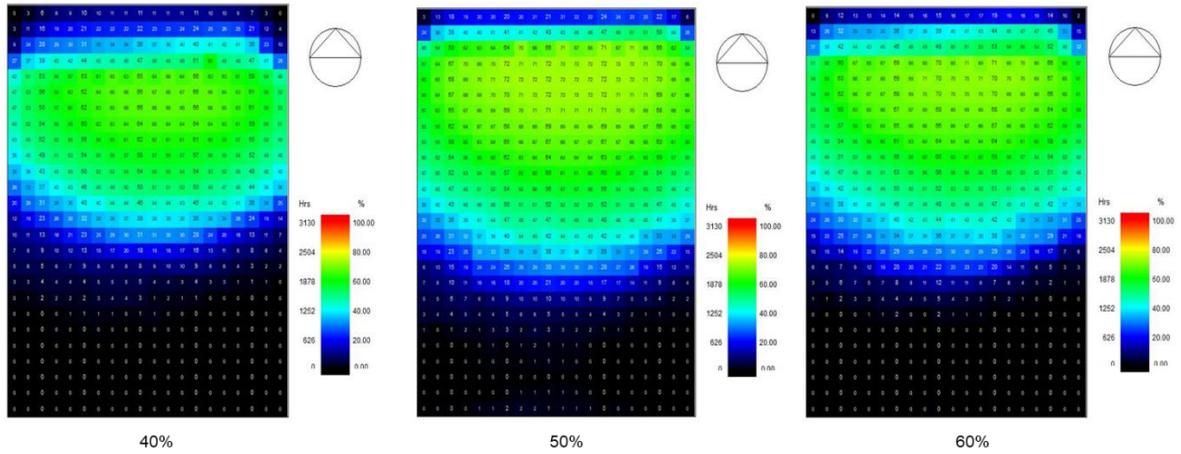


Figura 67 - Mapas de UDI para vidro CebracePN, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento

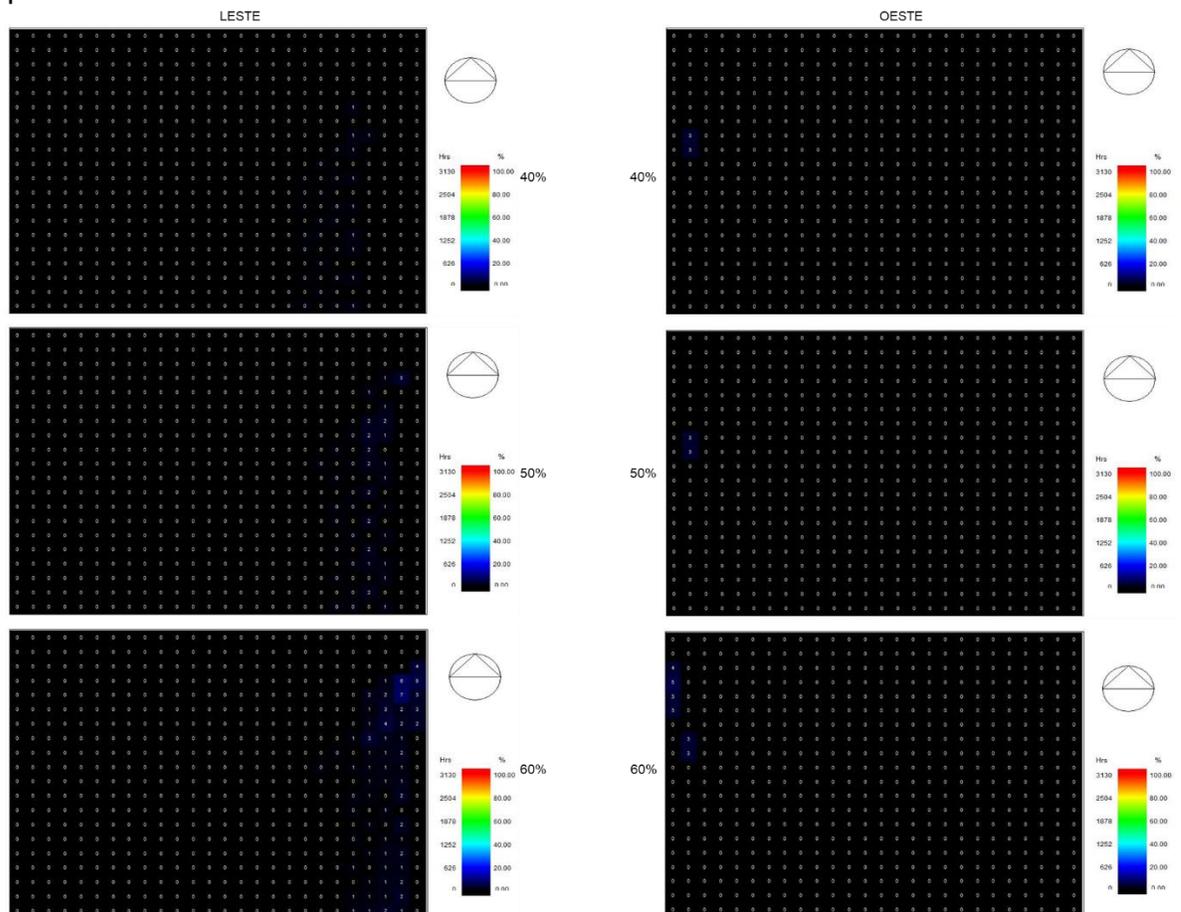


Figura 68 - Mapas de UDI para vidro CebraceSKN e orientação norte com dispositivos de sombreamento

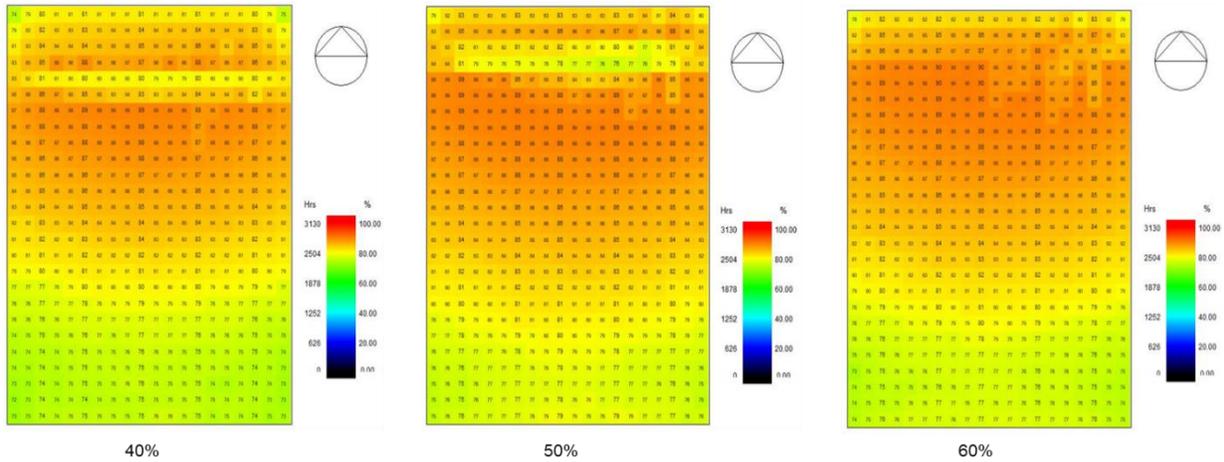


Figura 69 - Mapas de UDI para vidro CebraceSKN, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento

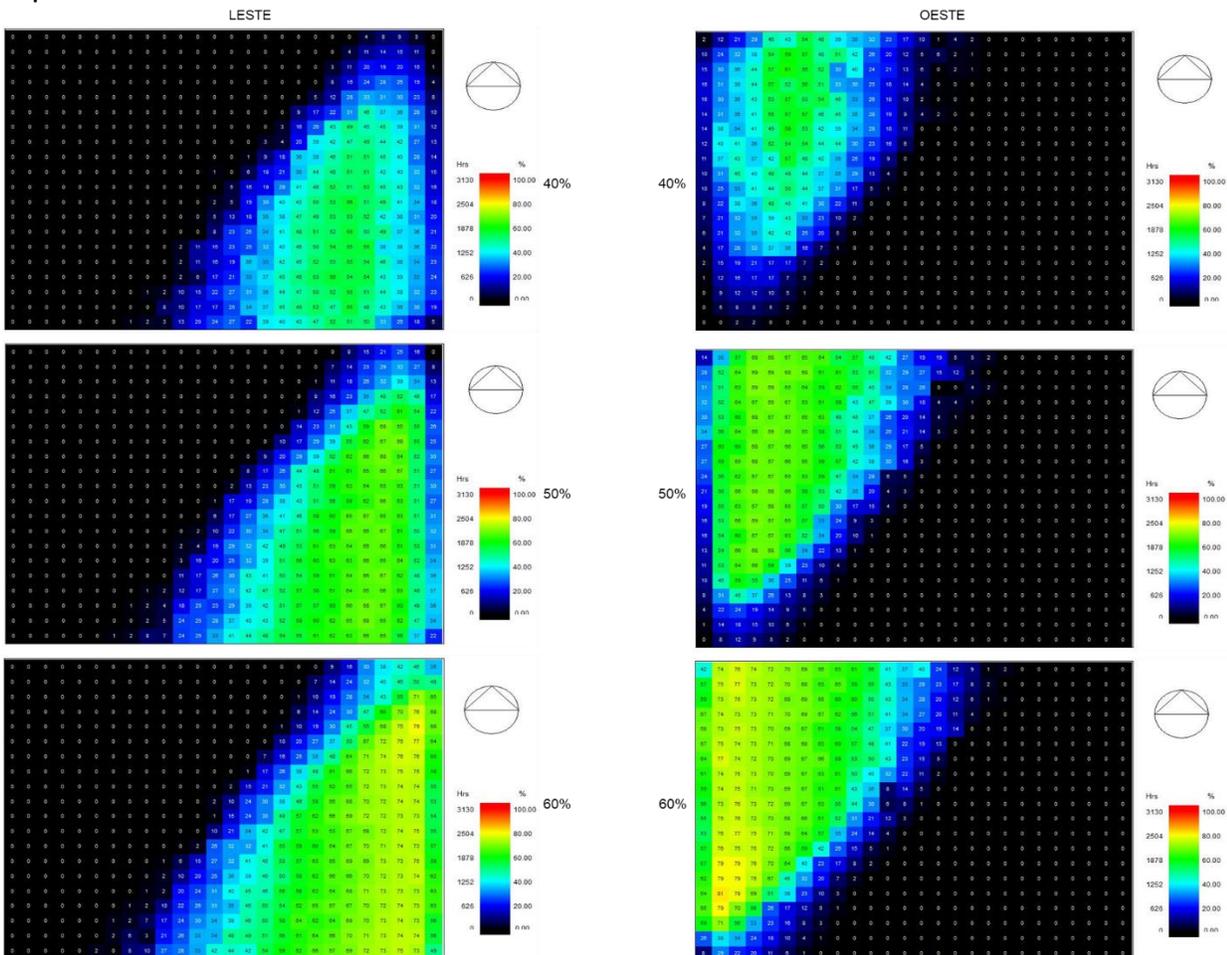


Figura 70 - Mapas de UDI para vidro GuardianBlue e orientação norte com dispositivos de sombreamento

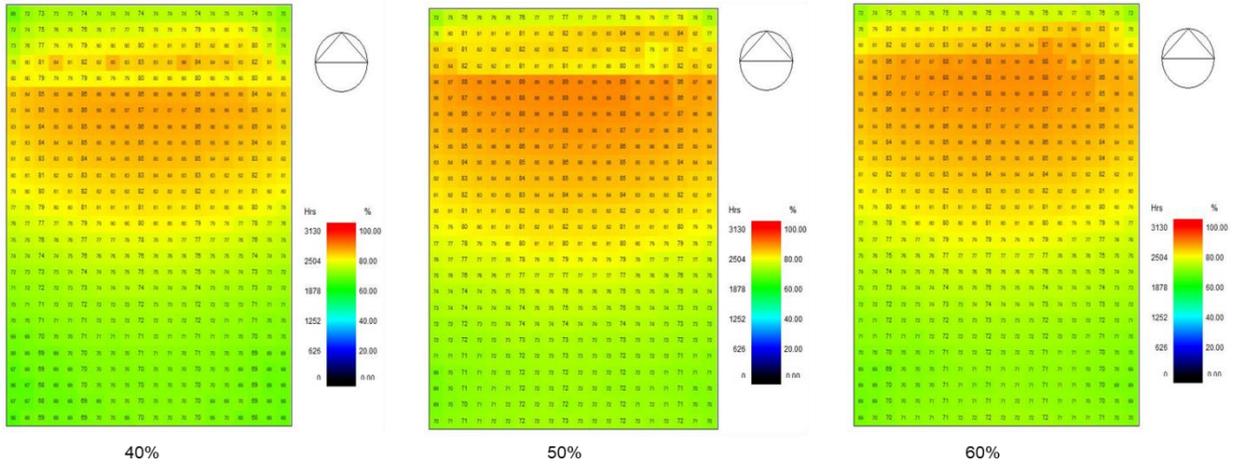


Figura 71 - Mapas de UDI para vidro GuardianBlue, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento

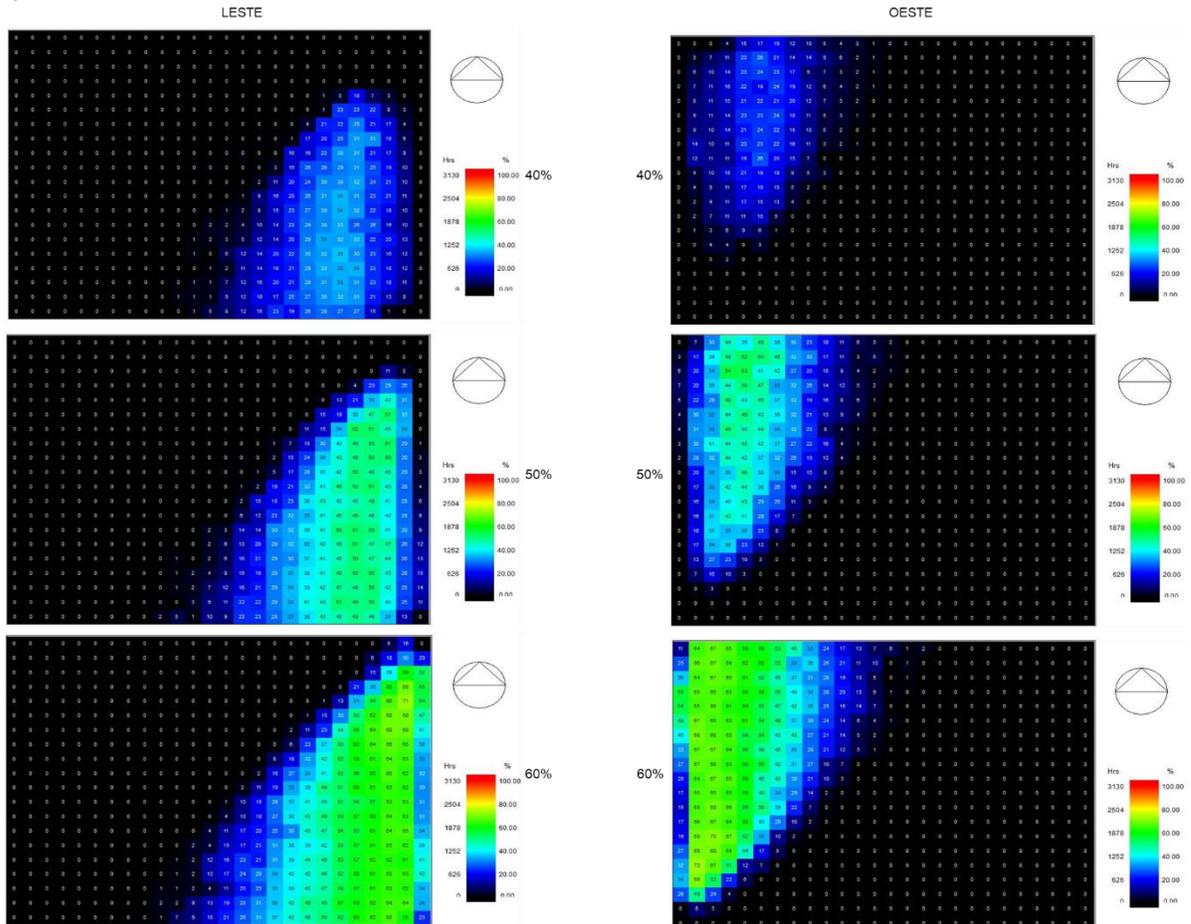
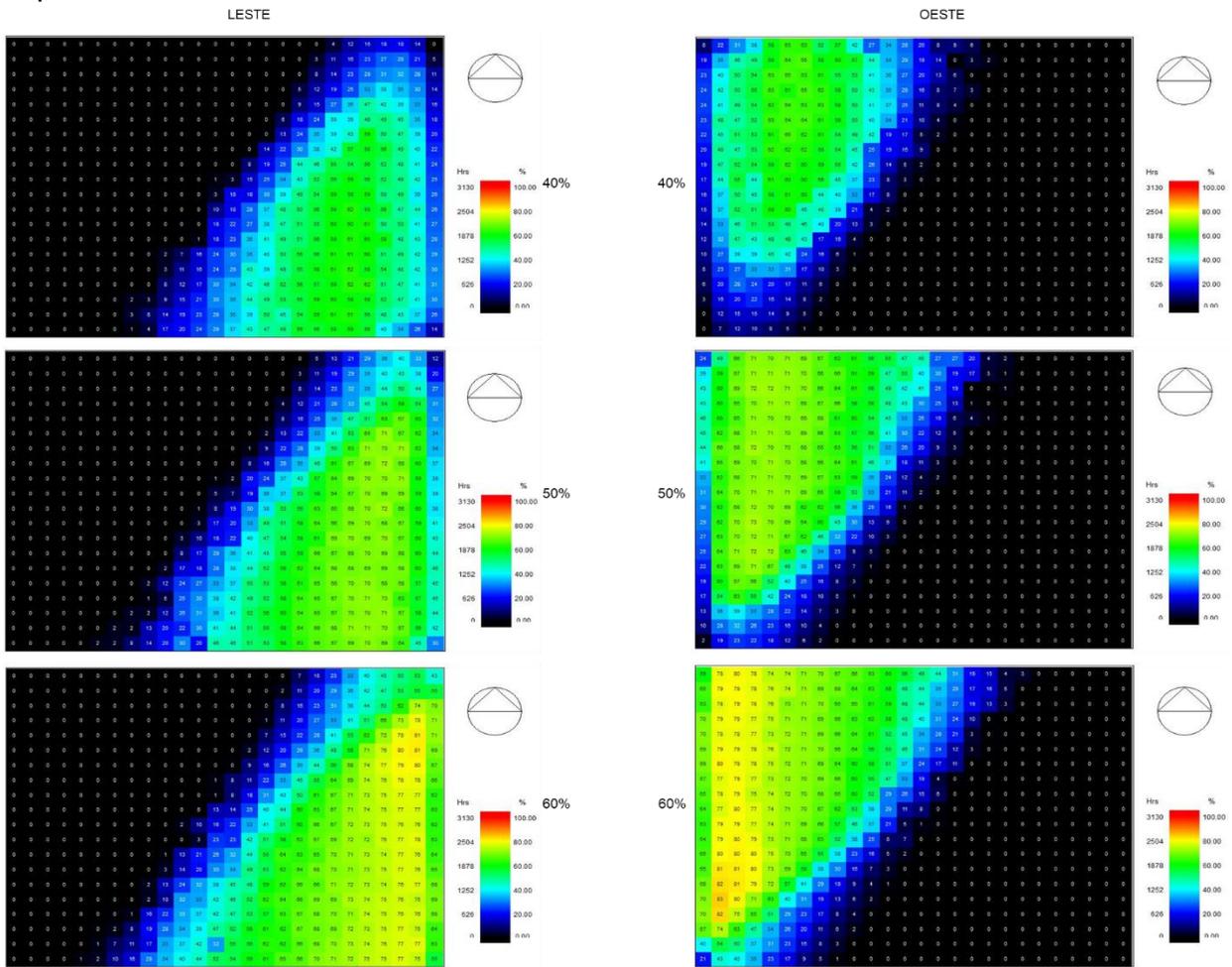


Figura 72 - Mapas de UDI para vidro SinglePane, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento



APÊNDICE D

Nesse apêndice estão representados os mapas de iluminância para os três percentuais de abertura, quatro tipologias de vidros e quatro orientações solares.

Figura 73 - Mapas de iluminância para abertura 40% e vidro CebracePN com dispositivos de sombreamento

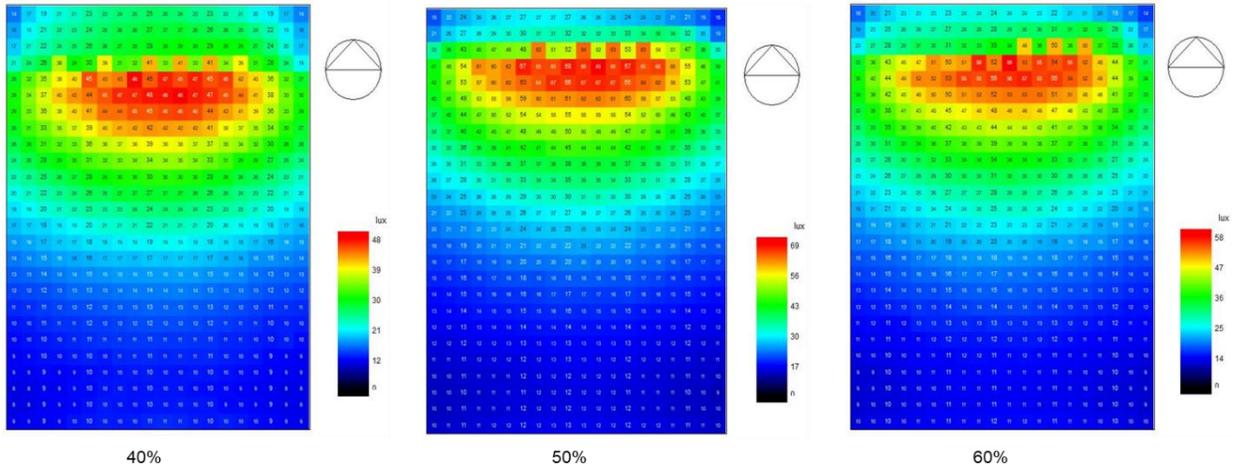


Figura 74 - Mapas de iluminância para vidro CebracePN, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento

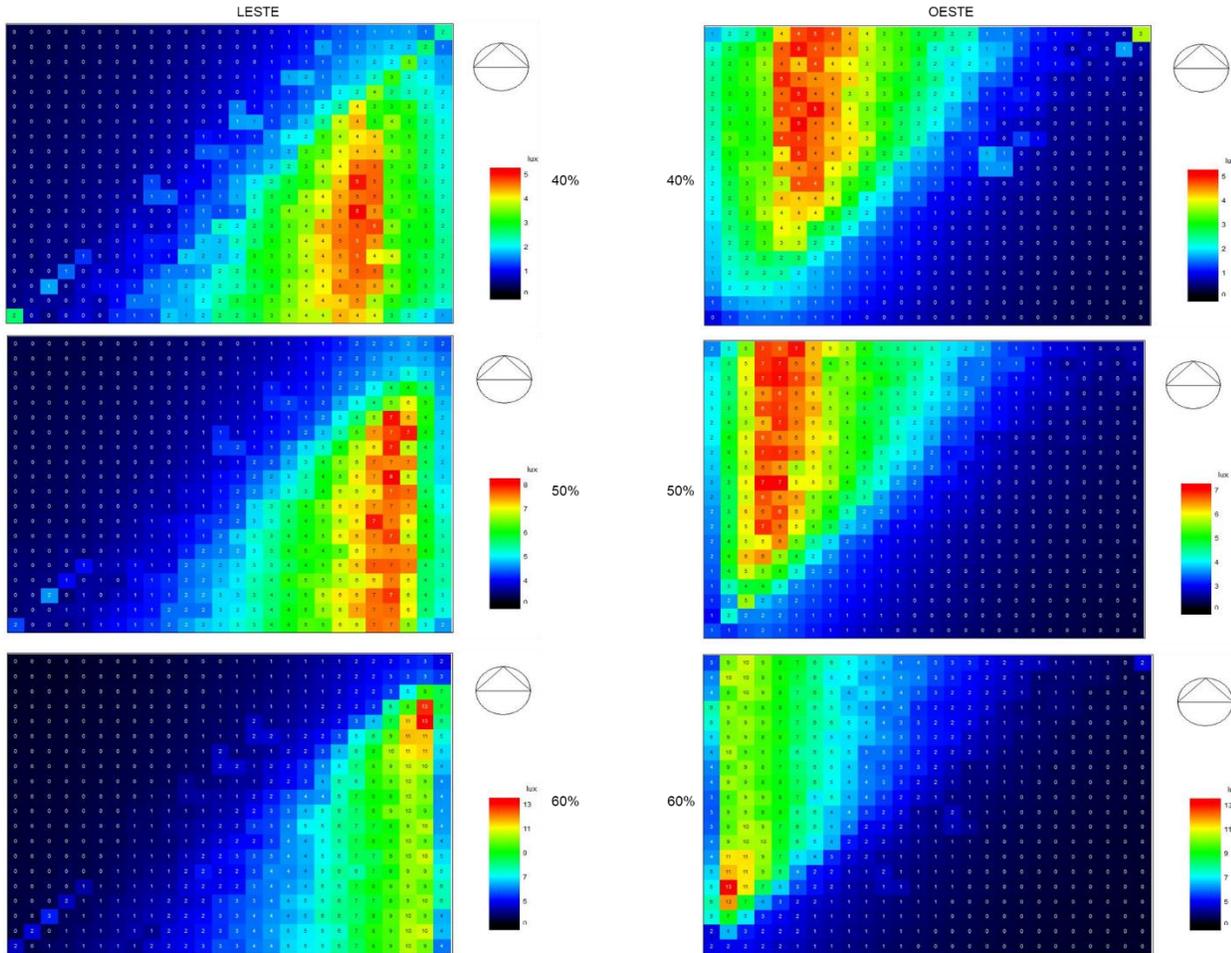


Figura 75 - Mapas de iluminância para norte e vidro CebraceSKN com dispositivos de sombreamento

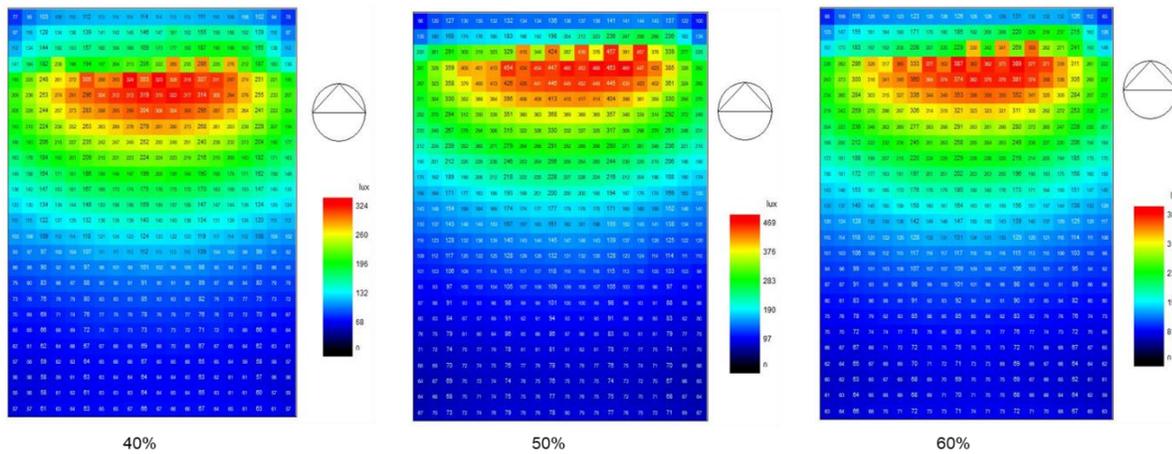


Figura 76 - Mapas de iluminância para vidro CebraceSKN, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento

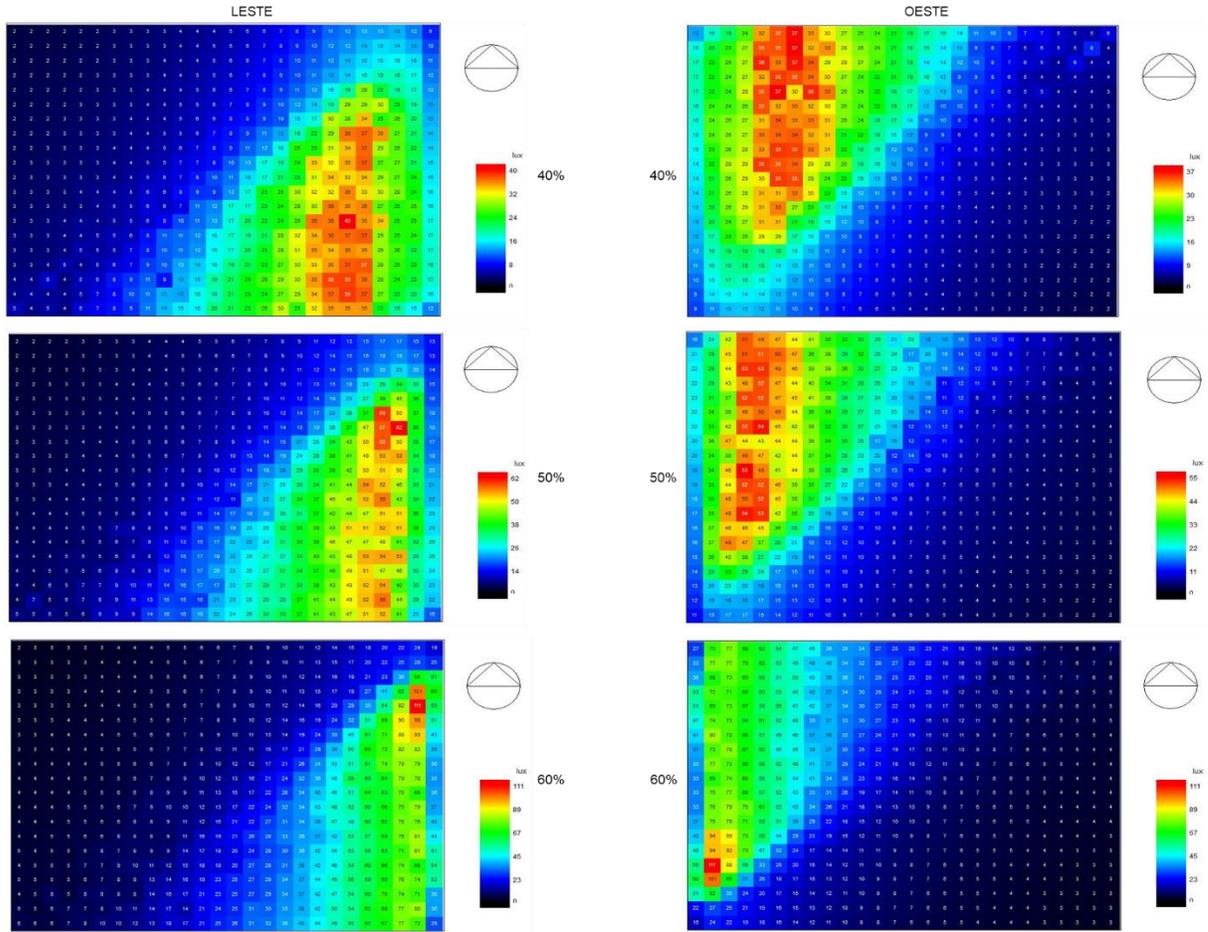


Figura 77 - Mapas de iluminância para abertura 40% e vidro GuardianBlue com dispositivos de sombreamento

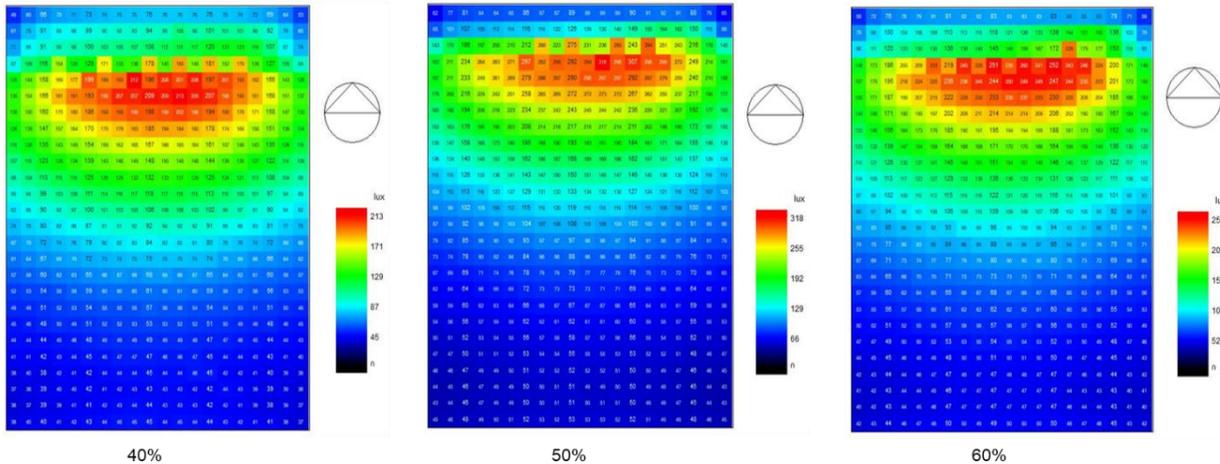


Figura 78 - Mapas de iluminação para vidro GuardianBlue, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento

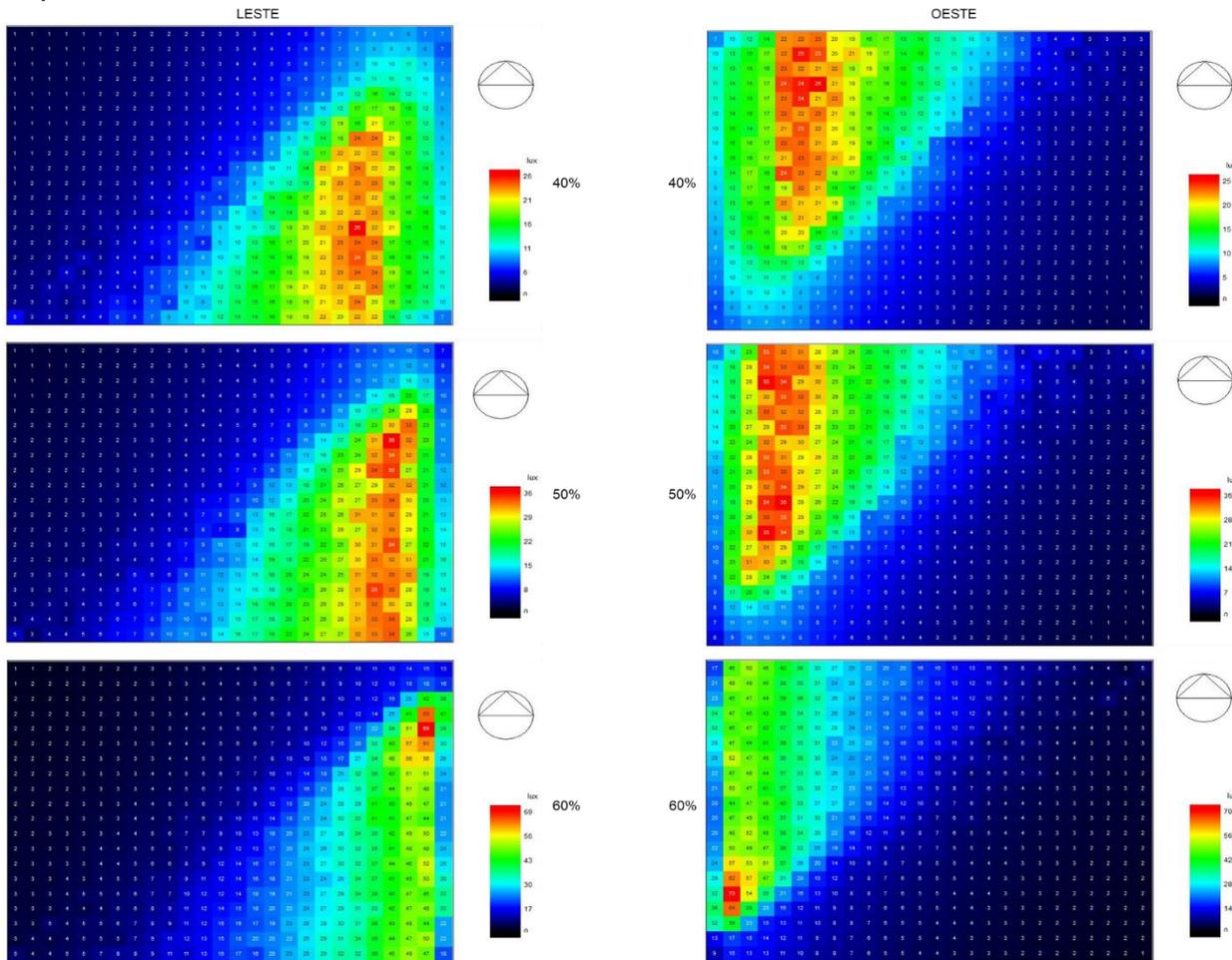
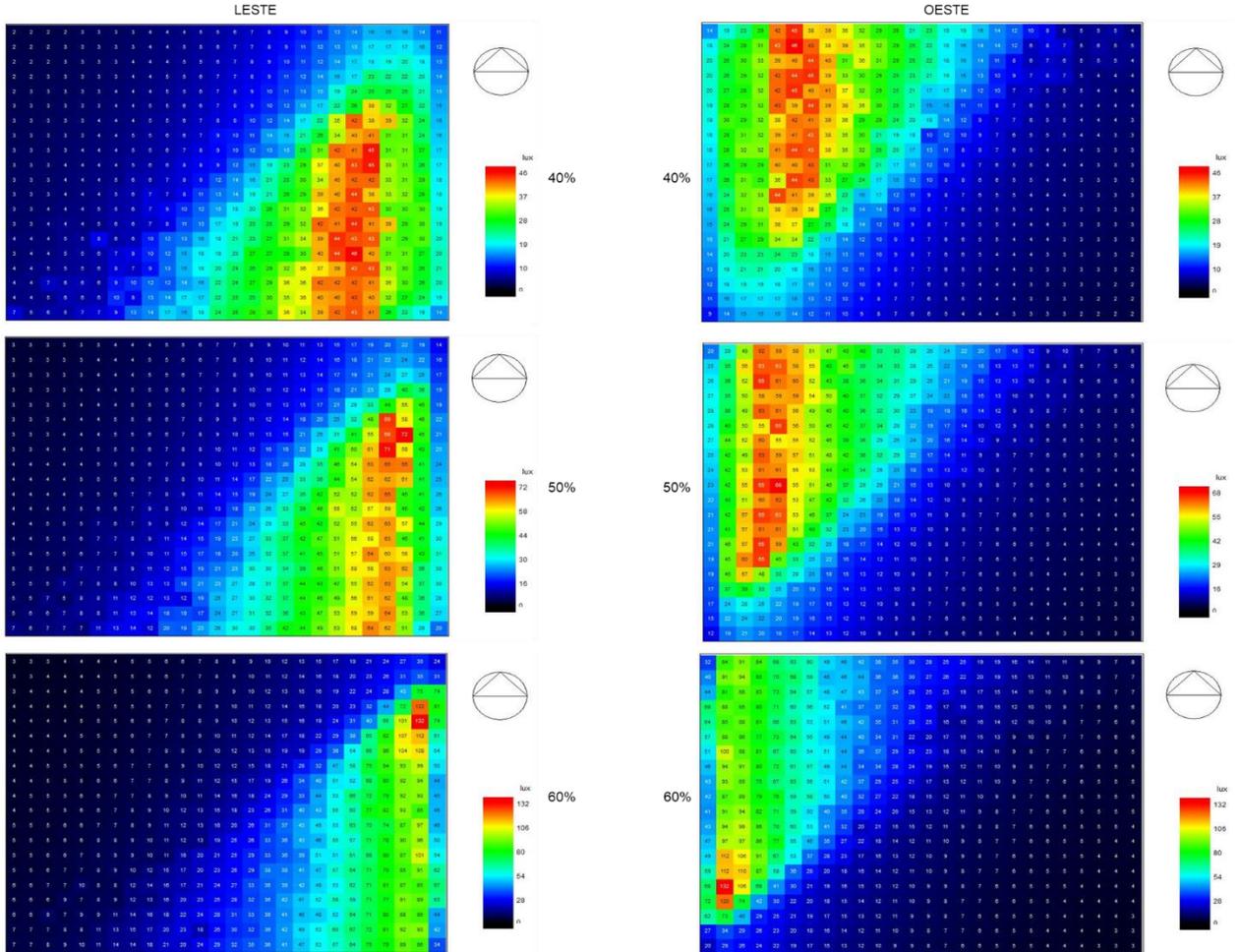


Figura 79 - Mapas de iluminância para vidro SinglePane, orientações leste e oeste com dispositivos de sombreamento



APÊNDICE E

Nesse item estão representadas as porcentagens de consumo para cada fonte de demanda de acordo com as aberturas e orientações solares.

Tabela 44 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 40%

Tipologias de vidros	Fontes de consumo	40%			
		Norte	Sul	Leste	Oeste
CebracePN	Iluminação	15.13	22.16	22.06	16.89
	Aquecimento	0.19	0.42	0.27	0.30
	Resfriamento	44.02	30.44	25.42	42.95
	Equipamentos	40.66	46.98	52.25	39.85
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00
CebraceSKN	Iluminação	9.20	10.88	10.27	8.50
	Aquecimento	0.14	0.38	0.22	0.28
	Resfriamento	35.71	33.18	34.81	42.70
	Equipamentos	54.94	55.55	54.71	48.52
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00
GuardianBlue	Iluminação	10.55	12.29	9.98	8.87
	Aquecimento	0.07	0.39	0.18	0.28
	Resfriamento	33.78	35.62	44.47	48.82
	Equipamentos	55.60	51.70	45.37	42.03
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00
SinglePane	Iluminação	7.57	11.22	6.91	6.42
	Aquecimento	0.04	0.32	0.10	0.19
	Resfriamento	44.55	25.10	53.38	53.44
	Equipamentos	47.83	63.36	39.61	39.94
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Tabela 45 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 50%

Tipologias de vidro	Fontes de consumo	50%			
		Norte	Sul	Leste	Oeste
CebracePN	Iluminação	13.99	20.91	16.82	16.09
	Aquecimento	0.16	0.41	0.24	0.30
	Resfriamento	45.57	30.96	40.10	42.38
	Equipamentos	40.28	47.73	42.84	41.23
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00
CebraceSKN	Iluminação	7.10	9.96	8.41	7.53
	Aquecimento	0.06	0.30	0.15	0.23
	Resfriamento	48.27	34.05	43.25	46.02
	Equipamentos	44.57	55.69	48.20	46.22
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00
GuardianBlue	Iluminação	9.20	11.06	8.51	7.76
	Aquecimento	0.06	0.33	0.12	0.22
	Resfriamento	39.02	37.17	49.37	51.45
	Equipamentos	51.72	51.44	42.01	40.57
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00
SinglePane	Iluminação	6.59	9.71	6.07	5.87
	Aquecimento	0.03	0.26	0.08	0.14
	Resfriamento	50.07	31.14	56.82	55.69
	Equipamentos	43.32	58.90	37.03	38.29
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Tabela 46 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 60%

Tipologias de vidro	Fontes de consumo	60%			
		Norte	Sul	Leste	Oeste
CebracePN	Iluminação	13.14	19.93	15.50	14.95
	Aquecimento	0.13	0.39	0.20	0.27
	Resfriamento	46.92	31.70	42.58	44.10
	Equipamentos	39.81	47.99	41.72	40.68
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00
CebraceSKN	Iluminação	6.74	9.36	7.45	7.05
	Aquecimento	0.05	0.26	0.11	0.19
	Resfriamento	49.46	34.90	47.72	47.65
	Equipamentos	43.75	55.48	44.73	45.11
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00
GuardianBlue	Iluminação	8.21	10.16	7.22	7.07
	Aquecimento	0.04	0.27	0.09	0.18
	Resfriamento	43.66	38.82	54.93	53.28
	Equipamentos	48.09	50.74	37.75	39.47
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00
SinglePane	Iluminação	5.84	8.67	5.48	5.48
	Aquecimento	0.01	0.20	0.06	0.10
	Resfriamento	54.67	36.21	59.68	57.63
	Equipamentos	39.48	54.92	34.78	36.79
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00

APÊNDICE F

Nesse apêndice são representados os consumos de energia para cada fonte de demanda em função dos meses do ano, para todas as aberturas, orientações e vidros.

Tabela 47 - Consumos de energia elétrica por iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais para os meses do ano em kWh/m² para o vidro CebracePN

		40%				50%				60%			
		N	S	L	O	N	S	L	O	N	S	L	O
Iluminação artificial	Jan	0,86	0,95	0,87	0,92	0,83	0,91	0,75	0,87	0,72	0,75	0,68	0,71
	Fev	0,84	0,99	0,92	0,90	0,75	0,89	0,84	0,85	0,73	0,83	0,77	0,74
	Mar	0,92	1,21	1,01	1,06	0,82	1,14	0,93	0,97	0,83	1,04	0,93	0,93
	Abr	0,94	1,20	1,13	1,13	0,84	1,12	0,98	1,03	0,84	1,15	1,01	0,99
	Mai	0,96	1,42	1,22	1,24	0,91	1,33	1,17	1,12	0,89	1,31	1,12	1,11
	Jun	1,05	1,36	1,25	1,25	1,03	1,28	1,13	1,11	1,01	1,31	1,18	1,15
	Jul	1,14	1,47	1,31	1,33	1,04	1,40	1,26	1,16	1,06	1,39	1,24	1,25
	Ago	0,94	1,39	1,18	1,10	0,89	1,28	1,11	1,15	0,86	1,25	1,07	1,06
	Set	0,89	1,21	1,03	1,04	0,82	1,14	1,03	0,95	0,77	1,04	0,91	0,89
	Out	0,95	1,21	1,06	1,06	0,90	1,14	1,04	0,97	0,83	1,00	0,91	0,89
	Nov	0,90	1,00	0,94	0,92	0,85	0,87	0,86	0,83	0,74	0,80	0,75	0,73
	Dez	0,91	0,91	0,90	0,92	0,87	0,80	0,82	0,84	0,74	0,74	0,69	0,71
Aquecimento	Jan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fev	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mai	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
	Jun	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Jul	0,04	0,07	0,05	0,06	0,04	0,07	0,04	0,06	0,03	0,06	0,04	0,06
	Ago	0,06	0,13	0,08	0,11	0,06	0,13	0,08	0,11	0,05	0,12	0,07	0,10
	Set	0,02	0,04	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02
	Out	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Nov	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dez	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resfriamento	Jan	3,98	1,99	3,88	1,32	4,34	1,99	3,76	3,32	4,57	2,03	3,99	4,10
	Fev	3,45	1,78	3,37	1,19	3,68	1,77	3,28	2,95	3,88	1,81	3,46	3,53
	Mar	3,72	1,96	3,53	1,31	3,96	1,92	3,53	3,15	4,17	1,96	3,69	3,78
	Abr	2,97	1,84	2,61	1,25	3,07	1,84	2,71	2,52	3,18	1,88	2,89	2,79
	Mai	2,40	1,57	1,93	1,21	2,37	1,55	2,00	1,89	2,46	1,58	2,11	2,04
	Jun	1,56	1,32	1,42	1,12	1,60	1,34	1,43	1,41	1,64	1,35	1,52	1,44
	Jul	1,48	1,08	1,19	1,09	1,49	1,09	1,24	1,18	1,55	1,10	1,42	1,26
	Ago	1,50	1,00	1,20	0,92	1,61	1,02	1,27	1,17	1,70	1,04	1,36	1,31
	Set	1,97	1,34	1,74	1,22	2,06	1,39	1,82	1,68	2,16	1,41	1,91	1,89
	Out	3,19	1,93	3,19	1,46	3,34	1,94	3,25	2,95	3,46	1,98	3,27	3,40
	Nov	3,31	1,91	3,41	1,42	3,42	1,92	3,41	3,07	3,53	1,95	3,51	3,62
	Dez	3,34	1,96	3,52	1,26	3,42	1,92	3,50	3,14	3,49	1,96	3,59	3,76

Tabela 48 - Consumos de energia elétrica por iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais para os meses do ano em kWh/m² para o vidro CebraceSKN

		40%				50%				60%			
		N	S	L	O	N	S	L	O	N	S	L	O
Iluminação artificial	Jan	0,23	0,23	0,26	0,24	0,22	0,22	0,24	0,22	0,21	0,21	0,22	0,21
	Fev	0,30	0,31	0,33	0,29	0,28	0,28	0,30	0,26	0,26	0,27	0,29	0,25
	Mar	0,45	0,49	0,49	0,46	0,43	0,45	0,46	0,43	0,42	0,43	0,44	0,41
	Abr	0,48	0,56	0,54	0,50	0,46	0,51	0,50	0,47	0,45	0,49	0,48	0,45
	Mai	0,52	0,71	0,61	0,58	0,50	0,63	0,57	0,53	0,49	0,58	0,54	0,51
	Jun	0,62	0,81	0,72	0,69	0,59	0,75	0,67	0,64	0,58	0,70	0,64	0,62
	Jul	0,67	0,83	0,74	0,74	0,64	0,76	0,69	0,68	0,62	0,71	0,66	0,66
	Ago	0,48	0,62	0,55	0,51	0,46	0,54	0,51	0,47	0,44	0,50	0,49	0,45
	Set	0,40	0,46	0,45	0,40	0,38	0,42	0,42	0,37	0,37	0,40	0,40	0,36
	Out	0,39	0,41	0,42	0,39	0,37	0,38	0,39	0,36	0,36	0,36	0,38	0,35
	Nov	0,27	0,27	0,30	0,27	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,24	0,26	0,24
	Dez	0,27	0,26	0,28	0,27	0,25	0,24	0,26	0,25	0,24	0,23	0,25	0,24
Aquecimento	Jan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fev	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mai	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
	Jun	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
	Jul	0,03	0,05	0,04	0,05	0,02	0,05	0,03	0,04	0,01	0,04	0,02	0,04
	Ago	0,03	0,11	0,06	0,09	0,02	0,09	0,04	0,07	0,01	0,07	0,03	0,06
	Set	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
	Out	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Nov	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dez	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resfriamento	Jan	1,70	1,81	1,88	3,10	3,73	1,82	2,89	3,83	3,90	1,89	4,06	4,26
	Fev	1,51	1,61	1,67	2,75	3,22	1,61	2,57	3,30	3,35	1,68	3,47	3,60
	Mar	1,64	1,75	1,81	2,95	3,51	1,79	2,79	3,43	3,66	1,82	3,71	3,64
	Abr	1,64	1,69	1,80	2,36	3,09	1,76	2,60	2,48	3,22	1,78	2,68	2,54
	Mai	1,70	1,44	1,58	1,76	2,52	1,51	1,99	1,82	2,64	1,53	1,98	1,87
	Jun	1,58	1,27	1,31	1,33	1,66	1,21	1,45	1,37	1,74	1,33	1,41	1,40
	Jul	1,70	1,06	1,15	1,13	1,63	1,09	1,30	1,17	1,71	1,12	1,26	1,21
	Ago	1,70	0,95	1,12	1,12	1,81	1,02	1,37	1,18	1,96	1,05	1,33	1,23
	Set	1,58	1,29	1,48	1,59	2,17	1,32	1,89	1,72	2,30	1,38	1,89	1,81
	Out	1,70	1,78	1,88	2,78	3,16	1,86	2,83	3,11	3,26	1,87	3,33	3,26
	Nov	1,64	1,75	1,81	2,90	3,16	1,79	2,79	3,37	3,26	1,82	3,57	3,60
	Dez	1,64	1,75	1,81	2,94	3,23	1,79	2,79	3,44	3,32	1,82	3,69	3,67

Tabela 49 - Consumos de energia elétrica por iluminação, aquecimento e resfriamento artificiais para os meses do ano em kWh/m² para o vidro GuardianBlue

		40%				50%				60%			
		N	S	L	O	N	S	L	O	N	S	L	O
Iluminação artificial	Jan	0,28	0,28	0,31	0,29	0,25	0,25	0,28	0,26	0,24	0,23	0,26	0,24
	Fev	0,36	0,40	0,41	0,36	0,32	0,35	0,37	0,32	0,30	0,32	0,34	0,29
	Mar	0,51	0,61	0,57	0,54	0,48	0,53	0,53	0,49	0,46	0,50	0,50	0,47
	Abr	0,53	0,71	0,63	0,60	0,51	0,64	0,58	0,54	0,49	0,58	0,55	0,51
	Mai	0,58	0,84	0,71	0,71	0,55	0,77	0,66	0,64	0,53	0,72	0,63	0,59
	Jun	0,69	0,95	0,82	0,81	0,65	0,86	0,77	0,75	0,63	0,82	0,73	0,70
	Jul	0,74	0,92	0,84	0,86	0,71	0,89	0,79	0,80	0,69	0,85	0,75	0,75
	Ago	0,54	0,77	0,65	0,63	0,50	0,70	0,60	0,57	0,49	0,64	0,57	0,52
	Set	0,45	0,60	0,53	0,49	0,42	0,52	0,49	0,44	0,41	0,47	0,46	0,41
	Out	0,45	0,51	0,51	0,47	0,42	0,45	0,46	0,42	0,40	0,42	0,43	0,40
	Nov	0,33	0,34	0,37	0,33	0,29	0,30	0,33	0,29	0,28	0,28	0,30	0,27
	Dez	0,32	0,30	0,34	0,33	0,29	0,28	0,31	0,29	0,27	0,26	0,29	0,27
Aquecimento	Jan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fev	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mai	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
	Jun	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
	Jul	0,02	0,06	0,04	0,06	0,01	0,06	0,03	0,06	0,01	0,05	0,03	0,05
	Ago	0,02	0,11	0,05	0,09	0,02	0,10	0,04	0,07	0,01	0,08	0,03	0,06
	Set	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
	Out	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Nov	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dez	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resfriamento	Jan	1,66	2,13	3,24	4,85	2,09	2,24	4,18	5,58	2,55	2,38	6,53	6,05
	Fev	1,48	1,90	2,88	4,06	1,86	1,99	3,67	4,68	2,26	2,11	5,30	5,09
	Mar	1,60	2,05	3,12	4,06	2,01	2,15	3,97	4,32	2,45	2,29	4,90	4,50
	Abr	1,60	1,97	2,83	2,75	2,01	2,07	3,16	2,89	2,45	2,19	3,28	3,02
	Mai	1,62	1,63	2,12	2,00	2,02	1,71	2,27	2,08	2,44	1,80	2,34	2,17
	Jun	1,37	1,36	1,48	1,44	1,58	1,40	1,53	1,48	1,80	1,45	1,55	1,54
	Jul	1,36	1,12	1,30	1,23	1,60	1,16	1,38	1,26	1,81	1,20	1,40	1,32
	Ago	1,42	1,07	1,40	1,29	1,76	1,14	1,56	1,37	2,10	1,21	1,64	1,45
	Set	1,49	1,50	2,03	1,93	1,86	1,57	2,27	2,08	2,25	1,68	2,47	2,24
	Out	1,66	2,09	3,13	3,57	2,09	2,19	3,82	3,85	2,55	2,33	4,40	4,07
	Nov	1,60	2,05	3,12	4,01	2,01	2,15	3,93	4,43	2,45	2,29	5,00	4,74
	Dez	1,60	2,05	3,12	4,09	2,01	2,15	3,94	4,48	2,45	2,29	5,36	4,78

APÊNDICE G

Nesse apêndice estão representadas as porcentagens de consumo de cada fonte para todas as aberturas, tipologias de vidros e orientações solares, com dispositivos de sombreamento.

Tabela 50 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 40% com dispositivos de sombreamento

		40%		
Tipologias	Fontes de consumo	Norte	Leste	Oeste
CebracePN	Iluminação	26.18%	31.08%	31.37%
	Aquecimento	0.37%	0.34%	0.37%
	Resfriamento	21.71%	20.23%	20.03%
	Equipamentos	51.74%	48.36%	48.22%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%
CebraceSKN	Iluminação	13.39%	27.48%	24.79%
	Aquecimento	0.29%	0.19%	0.24%
	Resfriamento	22.74%	22.73%	33.04%
	Equipamentos	63.58%	49.60%	41.93%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%
GuardianBlue	Iluminação	15.07%	24.10%	25.00%
	Aquecimento	0.33%	0.26%	0.27%
	Resfriamento	25.31%	34.44%	33.85%
	Equipamentos	59.30%	41.21%	40.88%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%
SinglePane	Iluminação	11.62%	25.58%	23.40%
	Aquecimento	0.29%	0.26%	0.25%
	Resfriamento	27.73%	25.67%	35.43%
	Equipamentos	60.35%	48.49%	40.92%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%

Tabela 51 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 50% com dispositivos de sombreamento

50%				
Tipologias	Fontes de consumo	Norte	Leste	Oeste
PN	Iluminação	20.74%	30.34%	30.81%
	Aquecimento	0.27%	0.30%	0.36%
	Resfriamento	34.37%	21.36%	21.01%
	Equipamentos	44.63%	48.00%	47.82%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%
SKN	Iluminação	13.30%	25.38%	23.42%
	Aquecimento	0.22%	0.17%	0.20%
	Resfriamento	24.20%	24.24%	34.20%
	Equipamentos	62.28%	50.22%	42.17%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%
GB	Iluminação	12.12%	22.67%	24.00%
	Aquecimento	0.26%	0.24%	0.24%
	Resfriamento	37.53%	35.51%	34.82%
	Equipamentos	50.09%	41.58%	40.94%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%
SP	Iluminação	10.56%	23.41%	21.76%
	Aquecimento	0.25%	0.24%	0.25%
	Resfriamento	32.67%	27.40%	36.81%
	Equipamentos	56.53%	48.95%	41.18%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%

Tabela 52 - Porcentagens de consumo de energia elétrica de cada fonte para abertura de 60% com dispositivos de sombreamento

60%				
Tipologias	Fontes de consumo	Norte	Leste	Oeste
PN	Iluminação	20.20%	30.22%	30.89%
	Aquecimento	0.29%	0.27%	0.32%
	Resfriamento	35.08%	21.64%	20.76%
	Equipamentos	44.43%	47.88%	48.04%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%
SKN	Iluminação	12.35%	24.65%	23.16%
	Aquecimento	0.17%	0.15%	0.16%
	Resfriamento	26.07%	25.83%	34.49%
	Equipamentos	61.41%	49.37%	42.19%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%

GB	Iluminação	11.31%	22.30%	23.58%
	Aquecimento	0.20%	0.18%	0.24%
	Resfriamento	41.17%	36.31%	35.63%
	Equipamentos	47.31%	41.20%	40.55%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%
SP	Iluminação	8.91%	22.69%	21.20%
	Aquecimento	0.16%	0.23%	0.22%
	Resfriamento	43.05%	28.83%	37.82%
	Equipamentos	47.87%	48.24%	40.76%
	Total	100.00%	100.00%	100.00%