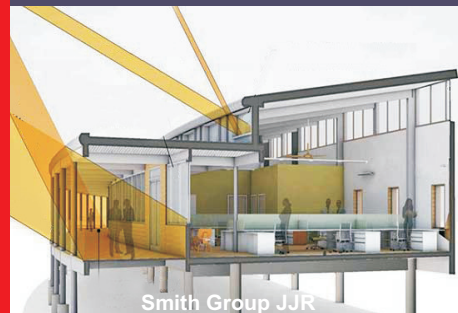




UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO: metodologia para a avaliação do desempenho luminoso



Daniela Cardoso Laudares Pereira
São Paulo, 2017

DANIELA CARDOSO LAUDARES PEREIRA

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório:

metodologia para a avaliação do desempenho luminoso

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração | **Tecnologia da Arquitetura**
Orientador | **Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato**

São Paulo, 2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL DO AUTOR: danilaudares@gmail.com

P436i Pereira, Daniela Cardoso Laudares
Iluminação natural em edifícios de escritório: metodologia para a avaliação do desempenho luminoso / Daniela Cardoso Laudares Pereira. -- São Paulo, 2017.
263 p.: il.

Tese (Doutorado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP.
Orientador: Paulo Sergio Scarazzato

1. Iluminação natural 2. Simulação computacional 3. Análise de Desempenho 4. Edifícios de escritório Título

CDU 628.92

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus
amores e grandes incentivadores:
Fabio e Anne, meu marido e filha,
e aos meus pais Jaime e Elinea.
Obrigada pelo apoio e compreensão
ao longo de todo o trabalho!

AGRADECIMENTOS

"If I have seen further, it is by standing
on the shoulders of giants."

Isaac Newton

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato pelo carinho, orientação, confiança e direcionamento ao longo de toda a pesquisa. Obrigada pela convivência muito prazerosa e ensinamentos que levarei por toda a minha vida. Sua paixão pela "iluminação" nas edificações é contagiante!

Ao amigo, e Prof. Msc. Nelson Solano Vianna, mestre e amigo de longa data, obrigada por toda a generosidade como ser humano, especialmente na difusão do seu conhecimento e vivência na área de conforto ambiental. Agradeço pelas oportunidades que me proporcionou através das experiências nas consultorias e vida docente, contribuindo sobremaneira para o meu crescimento profissional,

Agradecimento especial à querida e amiga Profa. Dra. Joana Carla Soares Gonçalves, que muito contribuiu, nos momentos mais difíceis desta pesquisa, com o seu direcionamento preciso e entusiasmado, sempre presente em todas as conversas ao longo deste processo.

Aos professores que participaram da banca de qualificação Profa. Dra. Regina C. Ruschel e Profa. Dra. Joana Carla Soares Gonçalves, pelas preciosas contribuições que foram fundamentais no desenvolvimento do trabalho, meus sinceros agradecimentos,

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

Agradecimento especial à amiga Dra. Mônica Pereira Marcondes pelo incentivo e pelas conversas e colaboração, em momentos cruciais desta pesquisa que muito contribuíram para o seu desenvolvimento,

Aos professores do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (LABAUT/FAUUSP) pelos ensinamentos durante as disciplinas cursadas, pela amizade, apoio e torcida ao longo desta jornada.

À amiga e sócia Profa. Msc. Cecília Mattos Mueller pelo convívio enriquecedor, apoio, troca de experiências e aprendizado ao longo de todos estes anos de convivência.

Obrigada por sempre poder contar com você!

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

À minha sogra Daniela, obrigada pelo apoio com a Anne durante todo o período da pesquisa. Sua ajuda foi fundamental na concretização deste trabalho!

Aos meus irmãos Alessandro, Fabrícia e Paula, obrigada pela torcida e por vibrarem sempre pelo meu sucesso,

Aos meus pais Jaime e Elinea, sinônimo de amor incondicional, grandes incentivadores ao longo de toda a minha vida. Obrigada pelo exemplo de vida e por serem tão especiais!

Aos meus amores Fabio e Anne pelo carinho, motivação e paciência nos momentos difíceis. Esta conquista também é de vocês!!!!

À Deus por todas as oportunidades em minha vida e por estar sempre iluminando o meu caminho!!

A todos que de alguma forma colaboraram com discussões, sugestões e incentivos para o sucesso deste trabalho, meus sinceros agradecimentos!!!

“A great building must begin with the unmeasurable,
must go through measurable means when it is being designed,
and in the end must be unmeasurable.”

- Louis Kahn-

RESUMO

PEREIRA, D. C. L. **Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para a avaliação do desempenho luminoso.** 2017. 263p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Esta tese parte da hipótese de que nem todos os edifícios de escritório com certificação ambiental na cidade de São Paulo, construídos entre os anos 2000 a 2016, atendem de modo satisfatório as condições de iluminação natural, segundo as recomendações hoje em vigor. Esses edifícios contemporâneos possuem grandes áreas envidraçadas em suas fachadas, sem proteção solar, que causam problemas de conforto térmico e luminoso. Para evitar o ofuscamento, os usuários acionam proteções solares internas como telas e persianas, o que acaba por impedir ou diminuir o acesso à luz natural. A pesquisa realizada fez um levantamento dos padrões construtivos prevaletentes em 28 edifícios de escritório que se enquadram na especificação descrita acima para verificar questões como: a profundidade da planta, transmissão luminosa dos vidros, WWR (Wall Window Ratio), entre outras. Os dados encontrados serviram para a elaboração de modelos referenciais, usados em simulações computacionais, com o objetivo de verificar a influência de variáveis arquitetônicas no desempenho da iluminação natural. As simulações foram realizadas no plug-in Diva do programa Rhinoceros 3D, que simula a iluminação natural de forma integrada com os softwares Radiance/DAYSIM, já validados pela comunidade científica internacional. O tratamento dos dados foi feito através de um método inédito de avaliação do desempenho luminoso e os resultados obtidos mostraram que 60% dos cenários analisados foram reprovados. Esta tese propõe uma metodologia de avaliação do desempenho luminoso de edifícios de escritório que considere de modo integrado a disponibilidade de luz natural, o conforto visual e o consumo de energia.

Palavras-chave: Iluminação natural. Simulação computacional. Análise de desempenho. Edifícios de escritório.

ABSTRACT

PEREIRA, D.C.L. **Daylighting in Office Buildings: a methodology for evaluating luminous performance**. 2017. 263p. Thesis (Doctorate) – Faculty of Architecture and Urbanism, University of São Paulo, São Paulo, 2017.

This thesis is based on the hypothesis that not all office buildings with environmental certification in the city of São Paulo, constructed between 2000 and 2016, meet satisfactorily the conditions of daylighting, according to the recommendations currently in force. These contemporary offices have large glass areas without sun protection in their facades, causing problems of thermal and luminous comfort. In order to avoid glare, users employ indoor shading devices such as rollers and blinds, which ultimately prevent or reduce access to daylight. This research has carried out a survey on the prevailing constructive patterns of 28 office buildings that follow the specifications described above, to verify issues such as plan depth, light transmission of glasses, WWR (Wall Window Ratio), among others. The collected data were used to elaborate reference models used in computational simulations, aiming at verifying the influence of architectural variables on the performance of daylighting. The simulations were carried out with the Diva plug-in for Rhinoceros 3D program, which simulates daylighting, integrated with software Radiance/DAYSIM, already validated by the international scientific community. The data treatment was carried out through an innovative method for evaluating luminous performance, and the obtained results showed that 60% of the analyzed scenarios were disapproved. This thesis proposes that the methodology for evaluating the luminous performance of office buildings should consider the availability of daylight, visual comfort, and energy consumption in an integrated way.

Keywords: Daylighting. Computational simulation. Performance analysis. Office buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção do cortisol e da melatonina ao longo do dia de acordo com a luz natural.	57
Figura 2: Imagem da integração da luz natural com a artificial.....	67
Figura 3: Zonas de iluminação.....	68
Figura 4: Renderização de um espaço de trabalho e a representação desta vista em cores falsas.....	72
Figura 5: Métricas da iluminação natural: DA, Daylight Availability, cDA, UDI.....	75
Figura 6: Temporal map para três situações de projeto.....	76
Figura 7: Simulações de um ambiente de escritório com as métricas Daylight Autonomy, Useful Daylight Illuminance e Daylight Availability.	77
Figura 8: Visualizações de um escritório com a avaliação da métrica DGP.....	80
Figura 9: Perfil anual do DGP para um ponto considerando diversas estratégias de acionamento do dispositivo de sombreamento interno.....	81
Figura 10: Distribuição da Luz em relação à distância da fachada, considerando diversas estratégias de controle do sombreamento.....	81
Figura 11: Resultado da simulação Annual Glare.....	82
Figura 12: Interface da plataforma Lightsolve.....	88
Figura 13: Daylighting Dashboard (comparação entre cenários de iluminação).....	89
Figura 14: Consumo anual de uso de energia por zona climática e melhorias no projeto de iluminação natural (kWh / m ²).....	90
Figura 15: Daylighting Dashboard com a avaliação de um ambiente para duas condições de céu.....	91
Figura 16: Imagem à esquerda. DF, DA e UDI para os cinco cenários, imagem à direita UDI100, UDI100-2000 e UDI200 para os cinco cenários.....	92
Figura 17: Ocorrência de diferentes faixas de iluminância no plano de trabalho.....	93
Figura 18: Fluxograma da pesquisa.....	99
Figura 19: Ficha modelo para o preenchimento do levantamento de dados das características arquitetônicas dos edifícios avaliados.....	102
Figura 20: Modelo 1- Pavimento 35mx35m e planta do escritório27m x 8m de profundidade.....	107
Figura 21: Modelo 2- 35mx35m e planta do escritório23m x 12m de profundidade.....	107
Figura 22: Modelo 3- 55mx55m e planta do escritório 34m x 21m de profundidade.....	108

Figura 23: Resultado de simulação Point in Time para dois ambientes diferentes .	113
Figura 24: Resultado de um cálculo anual de probabilidade de ofuscamento (anual glare) para um usuário sentado ao lado de uma janela.....	113
Figura 25: Interface do programa Diva com as diversas possibilidades de controle elétrico por grupos de luminárias.....	115
Figura 26: Simulação da métrica Daylight Availability	124
Figura 27: Imagem do relatório do Daysim com a informação que UDI (100-2000) ocorre acima de 50% do período de ocupação em 85% da área do ambiente.	125
Figura 28: Ponto crítico escolhido para a simulação do Annual Glare	126
Figura 29: Imagem do relatório Daysim com informação de ofuscamento e abertura do dispositivo de sombreamento interno (persiana)	128
Figura 30: Dados de consumo de energia do sistema de iluminação artificial.	129
Figura 31: Imagem resumo com a distância da profundidade do alcance.....	144
Figura 32: Máscara de sombreamento e corte esquemático dos brises.....	151
Figura 33: Imagem com os circuitos de iluminação para os modelos de 8m, 12m e 21m.....	154
Figura 34: Frequência mensal das condições de céu Nebuloso, Parcialmente Nebuloso com Dominância para o Difuso, Parcialmente Nebuloso com Dominância para o Claro e Claro, de 01/01/1983 a 31/12/2013.	162
Figura 35: Gráfico do consumo do sistema de iluminação artificial, considerando os cenários aprovados.	199
Figura 36: Gráfico do consumo do sistema de iluminação artificial, considerando todos os cenários (aprovados e reprovados).	200
Figura 37: Gráfico comparativo da relação (P) para os modelos com 8m de profundidade e acionamento conceitual.	202
Figura 38: Gráfico comparativo da relação (P) para os modelos com 12m de profundidade e acionamento conceitual	202
Figura 39: Gráfico comparativo da relação (P) para os modelos com 21m de profundidade e acionamento conceitual.	202
Figura 40: Características dos modelos 1 e 2	253
Figura 41: Simulações das métricas DA, Daylight Availability, cDA e UDI para os modelos 1 e 2	254

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área da tabela síntese- parte 1 com	120
Tabela 2: Tabela síntese - Parte 1 -numérica.....	121
Tabela 3: Área da tabela síntese – parte 1	122
Tabela 4: Área da tabela síntese- parte 1 -Dados sobre o conforto visual	125
Tabela 5: Área da tabela	129
Tabela 6: Tabela síntese - Parte 2 – visual/gráfica	131
Tabela 7: Área da tabela síntese- parte 2 com imagens da disponibilidade de luz natural.....	132
Tabela 8: Área da tabela síntese- parte 2 com gráfico de ofuscamento (ponto crítico do ambiente)	134
Tabela 9: Tabela síntese - Parte 3 – visual/ gráfica	135
Tabela 10: Área da tabela síntese- parte 3 com gráfico resumo de desempenho .	136
Tabela 11: Critérios de desempenho com atribuição de pontos por faixa de valores	141
Tabela 12: Exemplo de preenchimento da tabela com a pontuação dos cenários .	142
Tabela 13: Matriz dos cenários avaliados, com a respectiva nomenclatura do arquivo	156
Tabela 14: Superfícies e suas refletâncias	159
Tabela 15: Parâmetros para a simulação no Radiance sugeridos para cenas simples.	161
Tabela 16: Parâmetros para a simulação no Radiance sugeridos para cenas complexas.....	161
Tabela 17: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%.....	165
Tabela 18: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%.....	166
Tabela 19: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%. Fonte: Autora da tese	167
Tabela 20: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL)= 24%	168
Tabela 21: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%. Fonte: Autora da tese	169
Tabela 22: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%. Fonte: Autora da tese	170

Tabela 23: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%	171
Tabela 24: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%	172
Tabela 25: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%. Fonte: Autora da tese	173
Tabela 26: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%	174
Tabela 27: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%	175
Tabela 28: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%	176
Tabela 29: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%	177
Tabela 30: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%	178
Tabela 31: Parte 3. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%	179
Tabela 32: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%	180
Tabela 33: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%	181
Tabela 34: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%	182
Tabela 35: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%	183
Tabela 36: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%	184
Tabela 37: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%	185
Tabela 38: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%	186
Tabela 39: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%	187
Tabela 40: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%	188

Tabela 41: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%.....	189
Tabela 42: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%.....	190
Tabela 43: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%.....	191
Tabela 44: Classificação dos cenários aprovados da maior pontuação para a menor	193
Tabela 45: Características construtivas dos escritórios com certificação Leed e AQUA em São Paulo.....	242
Tabela 46: Características construtivas dos escritórios com certificação Leed e AQUA em São Paulo.....	243
Tabela 47: Pontuação dos cenários da Face Norte	247
Tabela 48: Pontuação dos cenários da Face Sul	248
Tabela 49: Pontuação dos cenários da Face Oeste.....	249
Tabela 50: Classificação dos cenários reprovados.....	257
Tabela 51: Profundidade de penetração da luz natural (PLN) – Cenários Face Norte	261
Tabela 52: Profundidade de penetração da luz natural (PLN) – Cenários Face Sul.....	262
Tabela 53: Profundidade de penetração da luz natural (PLN) – Cenários Face Oeste	263

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados de entrada de um programa para a simulação da iluminação natural	85
Quadro 2: Métricas usadas na tabela síntese e os critérios de avaliação	139
Quadro 3: Quadro síntese dos objetivos	219

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Relação de Profundidade (P).....	145
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA-HQE	- Alta Qualidade Ambiental (<i>Haute Qualité Environnementale</i>)
ALE	- Exposição anual à luz (<i>Annual Light Exposure</i>)
ASE.	-Exposição solar anual (<i>Annual Solar Exposure</i>)
CDBM	- Modelagem da luz com o clima (<i>Climate-based daylight modelling</i>)
CIE	- Comissão Internacional de Iluminação (<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>)
DA	- Autonomia da Luz Natural (<i>Daylight Autonomy</i>)
DF	- Fator de luz do Dia (<i>Daylight Factor</i>)
DAcon	- Autonomia da Luz Natural – Limite Contínuo (<i>Continuous Daylight Autonomy</i>)
DAmáx	- Autonomia da Luz Natural – Limite Máximo (<i>Maximum Daylight Autonomy</i>)
DGP	- Probabilidade de ofuscamento devido à luz natural (<i>Daylight Glare Probability</i>)
DOE	- Department of Energy - USA
FS	- Fator Solar
GBC Brasil	- <i>Green Building Council Brazil</i>
HDR	- Alto Alcance Dinâmico (<i>High Dynamic Range</i>)
IAG	- Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciência

atmosféricas da Universidade de São Paulo

IES	- <i>Illuminating Engineering Society</i>
IESNA	- Illuminating Engineering Society of North America
ipRGC	- Células Ganglionares da Retina
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
LabEEE	- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LEED	- Leadership in Energy and Environmental Design
LED	- Light
Emitting Diode	
NDI	- <i>Net Daylight Index</i>
PALN	- Potencial de Aproveitamento da Luz Natural
PLN	- Profundidade de Luz Natural alcançada
sDA	-Autonomia da Luz Natural Espacial <i>(Spatial Daylight Autonomy)</i>
TL	- Transmissão Luminosa
TMY	- Ano Meteorológico Típico <i>(Typical Meteorological Year)</i>
TRY	-Ano Climático de Referência <i>(Test Reference Year)</i>
UDI	- Iluminâncias Úteis <i>(Useful Daylight Illuminances)</i>
USGBC	- United States Green Building Council
WWR	- <i>Window Wall Ratio</i>

SUMÁRIO

Resumo.....	9
Abstract.....	11
Lista de figuras	13
Lista de tabelas	15
Lista de quadros	18
Lista de equações	18
Abreviaturas e siglas.....	19

PARTE 1 - INTRODUÇÃO

Introdução.....	27
Colocação do Problema.....	29
Justificativa e Relevância do Tema Proposto.....	36
Definição do Objeto de Estudo.....	41
Objetivos.....	41
Objetivo Geral.....	41
Objetivos Específicos	41
Hipótese.....	42
Etapas do Método	42
Produtos da tese.....	43
Estrutura do Trabalho.....	43

PARTE 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1 ILUMINAÇÃO NATURAL E OS AMBIENTES DE TRABALHO.....	51
1.1 Percepção da Luz nos espaços de trabalho.....	52
1.2 Iluminação Natural e a saúde dos usuários	56
1.3 Eficiência Energética e o Desempenho Térmico e Luminoso das Edificações	61

1.4	Integração da Iluminação Natural à Artificial	66
2	MÉTRICAS E MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	71
2.1	Métricas para a avaliação da iluminação natural	74
2.2	Métodos de avaliação da iluminação natural	83
 PARTE 3 - PROCESSO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS <hr/>		
3	O MÉTODO DA PESQUISA	99
3.1	Universo da pesquisa	100
3.2	Etapas da pesquisa.....	100
	3.2.1 Levantamento de dados primários: tipologias de escritórios certificados de São Paulo construídos a partir do ano 2000	100
	3.2.2 Levantamento de dados secundários	103
	3.2.3 Definição do modelo referencial para as simulações computacionais	103
	3.2.4 Características dos modelos adotados	106
3.3	Definição de premissas para a determinação dos cenários..	108
3.4	Simulações computacionais para a verificação do desempenho da iluminação natural	109
3.5	Tratamento dos dados.....	116
4	MÉTODO PROPOSTO PARA A ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO	119
4.1	Tabela síntese de resultados	119

4.1.1	Tabela síntese – parte 1.....	120
4.1.2	Tabela síntese – parte 2.....	130
4.1.3	Tabela síntese – parte 3.....	134
4.2	Critérios de desempenho.....	137
4.3	Etapa de Classificação e ordenação das alternativas	140
4.4	Método para a verificação da profundidade- limite da zona passiva de iluminação para os modelos avaliados.....	143
5	ESTUDOS ANALÍTICOS	149
5.1	Modelos e Cenários da simulação	149
5.2	Dados de entrada	158
5.2.1	Dados da edificação.....	158
5.2.2	Dados da condição de céu	161
5.3	Resultados das simulações computacionais	163
5.4	Análise dos cenários em relação ao desempenho luminoso .	193
5.5	Análise dos cenários em relação ao desempenho energético referente à integração da iluminação natural com a artificial.....	197
5.6	Resultado profundidade- limite da zona passiva de iluminação para os modelos avaliados	201
5.7	Considerações gerais sobre os cenários analisados com a metodologia proposta pela LM-83-12 e a metodologia proposta pela tese.....	204

PARTE 4 - CONCLUSÕES

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	211
6.1	Síntese dos capítulos.....	211
6.2	Comprovação da Tese	218
6.3	Limitações do Trabalho	219
6.4	Produtos da Pesquisa.....	219
6.5	Desdobramento futuros	220
	REFERÊNCIAS.....	223
	APÊNDICE A – Levantamento das características construtivas dos edifícios de escritório com certificação LEED e AQUA da cidade de São Paulo	239
	APÊNDICE B – Pontuação dos cenários	245
	APÊNDICE C – Resultados das simulações dos cenários com métricas da iluminação natural.....	251
	APÊNDICE D – Classificação dos cenários reprovados.....	255
	APÊNDICE E – Imagens com a medição da profundidade do alcance da luz natural.....	259



PARTE I

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

O termo sustentabilidade surgiu como derivação do conceito de desenvolvimento sustentável que, segundo o relatório de *Brundtland* (1987), pode ser definido como a "satisfação das necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas". Este conceito deve abranger as três esferas: econômica, social e ambiental. A conservação dos recursos naturais é um requisito importante quando falamos de sustentabilidade, tendo em vista que os mesmos não são infinitos.

Corbella e Yannas (2003, p. 17) apontam a importância do conforto ambiental para edificações que buscam a sustentabilidade:

"A arquitetura sustentável é a continuidade mais natural da bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as próximas gerações. "

O conceito de edificações com qualidades ambientais está intimamente relacionado à questão da eficiência energética que contribui para a redução da emissão de poluentes na atmosfera e aumenta o conforto nas edificações (FANCHIOTTI; AMORIM, 2001).

Portanto a economia de energia, conforto e saúde dos usuários são pontos fundamentais em edifícios que buscam práticas mais sustentáveis. Estes quesitos são influenciados diretamente pela configuração arquitetônica, sendo possível, portanto, melhorar o desempenho das edificações através de boas práticas de projeto.

Neste contexto insere-se a importância do uso adequado da luz natural nas edificações, que requer o planejamento cuidadoso entre o balanço da carga térmica, o controle do ofuscamento e ajustes para se adequar às variações da disponibilidade de luz natural nos diversos horários e épocas do ano.

Ghisi e Tinker (2005) mostram que a adequação do tamanho da abertura pode reduzir o consumo de energia de forma considerável.

“A especificação de uma área de janela ideal para um espaço, considerando um equilíbrio entre a provisão de luz natural e a carga térmica proveniente da radiação solar, leva a um cenário em que o consumo de energia do espaço é otimizado” (GHISI e TINKER, 2005, p. 52, tradução nossa)

Neste contexto insere-se a importância do uso adequado da luz natural nas edificações, que requer o planejamento cuidadoso entre o balanço da carga térmica, o controle do ofuscamento e ajustes para se adequar às variações da disponibilidade de luz natural nos diversos horários e épocas do ano. Para tal é necessária uma metodologia confiável de predição da variação da iluminação natural durante o ano nas edificações.

Mas o que seria o uso adequado da luz natural nas edificações?

Reinhart e Wienold (2011) propõem uma definição sobre o que se espera de um projeto que tira partido da iluminação natural de forma adequada. Segundo estes autores um projeto bem-sucedido do ponto de vista da iluminação natural deve se preocupar com a satisfação dos usuários, conforto visual e térmico, combinado a um baixo consumo energético da iluminação, aquecimento e resfriamento.

A economia de energia só é possível por meio da integração da iluminação natural à artificial. A iluminação artificial deve ser utilizada de forma suplementar à iluminação natural, sendo acionada quando esta não consegue suprir as necessidades do ambiente.

A pertinência do uso da iluminação natural se baseia principalmente na necessidade básica do ser humano de uma ligação com a luz do Sol, que é fonte primária de energia e geradora de vida. Devido às suas características próprias, a radiação solar influencia diretamente o bem-estar psicológico e fisiológico do homem e de maneira alguma poderá ser substituída apenas por recursos artificiais.

A busca pela sustentabilidade nas edificações está intimamente relacionada à conservação de energia e a consequente preservação dos recursos naturais, assim como edifícios que proporcionam espaços mais saudáveis aos seus usuários.

Portanto, devido às qualidades inerentes à luz natural e ao grande potencial de proporcionar ambientes mais saudáveis e economia de energia devido ao seu correto aproveitamento, esta deve ser utilizada como estratégia na busca pela sustentabilidade das edificações.

Colocação do Problema

O setor comercial pode contribuir de forma bastante significativa para a economia de energia no país.

Segundo o Balanço Energético Brasileiro de 2014, os edifícios consomem 48,5% do total de energia elétrica do país para uso e manutenção, distribuído em 24,2% para o setor residencial, 16,3% o setor comercial e 8% o público (EPE, 2014)

Nos prédios comerciais, os sistemas de iluminação e condicionamento artificial representam respectivamente 22% e 47% do consumo total nos edifícios com ar-condicionado (ELETROBRÁS, 2007). Os dados referidos mostram que é significativo o impacto dos sistemas de iluminação artificial e ar-condicionado no consumo final destas edificações.

Neste contexto, a iluminação natural se apresenta como uma das estratégias na busca de uma maior eficiência energética. O adequado uso da luz natural em combinação com o sistema de iluminação artificial pode resultar em uma expressiva economia de energia, principalmente em edifícios comerciais, industriais e públicos.

As edificações produzidas até o século XIX consideravam a envoltória como único filtro entre o espaço interior e exterior e, portanto, as condições climáticas do local era ponto fundamental na concepção das mesmas. A iluminação dos espaços era feita principalmente pela luz do dia e por este motivo o dimensionamento e a localização das aberturas eram projetadas considerando o clima e as atividades que seriam exercidas naquele espaço (MOORE, 1991).

A partir do séc. XX, com a revolução industrial que possibilitou avanços em materiais e tecnologias, surgiu uma nova maneira de fazer e pensar a arquitetura com o aparecimento do movimento moderno. As construções que antes, em sua grande maioria, eram sustentadas por espessas paredes passaram a ter a estrutura desvinculada das vedações, isto é, passaram a ser livres das funções estruturais.

Os avanços tecnológicos permitiram a abertura de grandes vãos nas fachadas para a admissão da luz do dia e possibilitou a continuidade espacial e a integração entre o interior e exterior.

A arquitetura moderna introduziu cinco pontos principais como preceitos na forma de construir e projetar: pilotis, terraço jardim, planta e fachadas livres e janela em fita (BRUAND, 2000).

Estes preceitos tiveram reflexos no conforto ambiental em países de clima quente e

úmido como o Brasil, que por vezes cumpriram a função de melhorar o desempenho ambiental das construções e em outras situações tiveram consequências negativas neste quesito.

O movimento moderno apresenta como característica marcante o surgimento de uma nova postura para a iluminação do espaço através da valorização da integração do espaço interior com o exterior. Esta integração teve como aspecto positivo o aumento da luminosidade dos ambientes e higienização dos mesmos.

Este aspecto torna-se negativo quando as aberturas não são feitas de forma criteriosa para o contexto do edifício, visto que a qualidade da luz que penetra o interior no seu interior é mais importante do que a quantidade, que pode ocasionar problemas de conforto térmico e visual.

Portanto, a eliminação das paredes autoportantes tornou possível o surgimento das plantas livres e fachadas com o uso de grandes panos de vidro. Este fato teve como consequências a possibilidade de obter maiores áreas de captação de luz, porém com efeitos negativos para o conforto térmico, nos casos em que a ausência de proteções solares externas adequadas favoreciam a formação do efeito estufa dentro dos ambientes (FONSECA et al 2009).

O aumento das aberturas em um país de clima quente e úmido, sem o devido cuidado com as proteções solares, teve como reflexo edificações com grande desconforto ambiental por não estarem adequadas ao clima e a ineficiência energética. É lógico que este aspecto não deve ser estendido a todos os edifícios deste período moderno. Nele também encontramos excelentes exemplares de arquitetura adaptadas ao clima.

Grandes arquitetos protagonistas do movimento moderno apresentavam em seus projetos preocupações com a implantação e orientação, ventilação e iluminação naturais. Entre eles podemos citar: Le Corbusier, Lúcio Costa, irmãos Roberto, Oswaldo Bratke, Reidy, etc.

O *brise soleil* é um entre os vários tipos de dispositivos de proteção solar, bastante eficiente, presente em projetos modernistas representativos, utilizado como filtro à radiação solar excessiva. Este elemento arquitetônico proporciona a entrada seletiva da luz natural de forma difusa, sem prejuízo ao conforto térmico e luminoso (FONSECA et al 2009).

Estes elementos de sombreamento externos podem ser utilizados para melhorar a eficiência energética das edificações, pois o controle seletivo da radiação solar

diminui os custos do condicionamento artificial.

A partir de 1930 notam-se duas concepções de projeto para a janela dos edifícios inseridos no movimento moderno: ora ela se apresenta como rasgos na horizontal com o comprimento em toda a fachada, ora como grandes panos de vidro com a transformação das paredes em simples membranas (OLIVEIRA, 2005).

O concreto armado permitiu a separação entre a estrutura e o fechamento, eliminando a necessidade do uso de paredes portantes e permitindo que os vãos para iluminação se estendessem de fora a fora, inclusive em alguns casos dobrando a esquina. O uso de janelas horizontais torna-se presença constante na obra de diversos arquitetos entre eles Frank Lloyd Wright e Le Corbusier.

As paredes cortinas surgiram com o desenvolvimento tecnológico do vidro, primeiramente em painéis de vidros montados em esquadrias leves e posteriormente presos diretamente no esqueleto estrutural das edificações (OLIVEIRA, 2005).

Em 1911, Walter Gropius inventou o conceito de fachada membrana com o projeto da fábrica de sapatos Fagus. Neste projeto os painéis de vidro eram suportados por colunas finas que dobravam as esquinas, já que os pilares de cantos eram omitidos, pois a laje ficava em balanço nas extremidades.

Porém a paternidade dos edifícios em pele de vidro foi dada ao arquiteto Mies Van Der Rohe, que em 1921 projetou o primeiro arranha-céu em torre de vidro, seguido por vários outros edifícios com esta mesma concepção em anos posteriores (OLIVEIRA, 2005).

Apesar disso a maioria dos edifícios existentes até a década de 30 era dependente da iluminação e ventilação natural. Possuíam plantas mais estreitas que proporcionavam iluminação e ventilação naturais, refletindo esta dependência do meio externo (GONÇALVES; UMAKOSHI, 2010).

A partir da segunda Guerra Mundial ocorreu uma disseminação da ideologia da torre de vidro propagada por Mies Van Der Rohe, em torno de vários países, devido a uma banalização e repetição ideológica do Estilo Internacional (*International Style*) (GONÇALVES; UMAKOSHI 2010).

Esta questão teve um impacto muito grande na produção da arquitetura após este período, especialmente a tipologia de edifícios altos de escritórios, devido ao excesso de radiação direta que penetra as edificações com grandes áreas envidraçadas.

As torres de vidros foram exportadas sem uma readaptação ao clima e características

culturais dos locais de destino, como um símbolo de poder, criando um verdadeiro ícone dos edifícios de escritório (DUTRA, 1994).

No final dos anos de 1950, a arquitetura comercial de edifícios de escritório passou a adotar um novo modelo de distribuição espacial conhecido como escritório panorâmico (*office landscape*) ou planta livre. Este era um revolucionário sistema de planejamento de espaços de trabalhos proposto pela empresa alemã de consultoria *Quickborner Team* (CALDEIRA, 2005).

A partir deste momento os edifícios passaram a ter lajes mais profundas e a fazer uso intensivo dos sistemas ativos para o condicionamento ambiental. O desenvolvimento e o aumento da eficiência dos sistemas de iluminação artificial e sistemas de condicionamento artificial, aliados ao baixo custo da energia elétrica e o fácil acesso da mesma nos meios urbanos contribuíram para este fato (GUTIERREZ; LABAKI, 2005).

Este modelo de edifício passa a ser exportado para todo o mundo com o uso de novas tecnologias como o ar-condicionado, elevadores de alta velocidade e os sistemas construtivos em aço e vidro, que permitiram o incremento em altura em lajes de grandes profundidades (UMAKOSHI, 2008).

A crise energética da década de 70 tornou esta situação insustentável, trazendo grandes mudanças sociais e econômicas. Em muitos países como Estados Unidos foram incentivadas pesquisas em conservação e fontes renováveis de energia (FEIJÓ, 2009).

A retomada da discussão do condicionamento passivo e eficiência energética surgiu na Europa no final de 1970, em decorrência das duas crises do petróleo.

No Brasil, que possui como principal matriz energética as usinas hidrelétricas, esta discussão ocorreu principalmente após a crise de infraestrutura do setor elétrico no final do milênio, com o racionamento e o aumento de energia para o consumidor (GUTIERREZ; LABAKI, 2005).

A partir de 1980 preocupações com o meio ambiente e o papel da arquitetura com melhor desempenho ambiental começam a ser levantadas após a apresentação do relatório de *Brundtland* (1987), chamado de Nosso Futuro comum e o desenvolvimento da Agenda 21 (1992), que tratavam de questões como impactos ambientais, consumo energético e sustentabilidade (GONÇALVES; UMAKOSHI 2010).

Neste momento surge o conceito de edifícios inteligentes com o uso extensivo de automação e de sofisticados sistemas de controles. Houve um avanço nos sistemas

ativos, através da eficiência energética dos sistemas prediais, mas não se verificou uma revisão crítica das estratégias passivas de iluminação e ventilação naturais. A maioria dos edifícios ainda era projetado com plantas profundas, pé-direito baixos, em peles de vidro e com a climatização totalmente artificial (UMAKOSHI, 2008).

No final de 1980 até 1990 surge uma nova geração de edifícios altos que tinham como premissa a busca por um melhor desempenho ambiental e eficiência energética. O projeto ícone que abriu este novo universo foi o edifício *Hong Kong and Shanghai Bank Headquarters* (1986), que possuía um átrio central para estratégias de iluminação e ventilação naturais. Porém na Europa foi em 1998, com o projeto do edifício *Comerzbank* que o escritório de arquitetura *Norman Foster and Partner* conseguiu atingir um desempenho do edifício com técnicas passivas sem precedentes, transformando-se em um ícone desta geração de edifícios, em busca de um melhor desempenho ambiental (UMAKOSHI, 2008).

Nos Estados Unidos a década de 90 também é um marco para o aparecimento de edifícios com premissas de sustentabilidade e eficiência energética. Porém ao contrário da Europa que o enfoque está em estratégias passivas, nos Estados Unidos o maior enfoque foi na otimização dos sistemas prediais, mecânicos e elétricos, e na especificação dos materiais. Neste aspecto o projeto de arquitetura dos edifícios comerciais americanos não teve uma grande revisão dos conceitos dos projetos que haviam sendo feitos. A principal modificação foi fazer uma arquitetura em que era possível incorporar os avanços tecnológicos em termos de sistemas prediais mais eficientes e materiais de menor impacto ambiental (GONÇALVES; UMAKOSHI, 2010).

Portanto abordagem europeia para nova geração de edifícios teve uma maior revisão do projeto de arquitetura, pois incorporou estratégias passivas na climatização, reduzindo o uso de sistemas e tecnologias ativas que eram utilizados de forma complementar.

As questões de sustentabilidade começaram a adquirir maior importância nos Estados Unidos após a criação do selo de certificação ambiental (LEED¹) em 1994 e outros "selos verdes". O LEED é um sistema de certificação de caráter voluntário e acabou se espalhando por diversos países, sendo utilizado como instrumento de mercado (UMAKOSHI, 2008).

¹ LEED – Leadership in Energy and Environmental Design: programa criado em 1994 pelo USA Green Building Council (USGBC)

Na década de 90 diversos sistemas de certificação surgiram pelo mundo entre os quais podemos citar: BREEHAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, 1990) na Inglaterra, o BEPAC (*Building Environmental Performance Assessment Criteria*, 1993) no Canadá, o LEED (*Leadership in Energy and Environment Design*, 1994) nos Estados Unidos, o HQE (*Hauté Qualité Environnementale*, 1996) na França, o CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*, 2001) no Japão e na Ásia e o GREEN STAR australiano (2002) (MARCONDES, 2010).

Aqui no Brasil os dois sistemas de certificação ambiental para edifícios de escritório que tiveram maior repercussão foram o LEED e o AQUA-HQE e correspondem a uma geração de edifícios que foram produzidos a partir do ano 2000.

Porém observa-se o mesmo fenômeno que aconteceu nos Estados Unidos. Os edifícios com certificação passaram por uma revisão com enfoque principalmente dos sistemas ativos, visando uma maior eficiência dos sistemas prediais e desenvolvimento de vidros especiais com o objetivo de melhorar o desempenho energético.

Entretanto o projeto destes edifícios segue o modelo da arquitetura internacional, com fechamento em pele de vidro, selado, sem tratamento por fachada, e com grande dependência do condicionamento artificial (MARCONDES, 2010).

A cidade de São Paulo por ser um polo econômico e financeiro do país possui diversos exemplares de edifícios certificados que serão analisados para se verificar as características de projeto que vem sendo realizadas e suas consequências no desempenho da iluminação natural.

Em edifícios de escritório os grandes painéis de vidro das fachadas, sem o uso de proteções solares externas, aumentam a ocorrência do ofuscamento no interior dos espaços de trabalho. Para evitar este fato que prejudica a execução de tarefas laborais, os usuários acionam proteções solares internas como telas e persianas o que acaba por impedir ou diminuir o acesso à luz natural, inviabilizando também o acesso às vistas externas. Portanto ocorre um paradoxo: ao aumentar as áreas envidraçadas sem o devido cuidado em relação as condições ambientais, a admissão de iluminação luz natural no interior dos espaços é prejudicada.

Diversas pesquisas realizadas em escritórios demonstram que uma vez que a radiação solar direta alcança o plano de trabalho, os usuários fecham os dispositivos de proteção internos e estes permanecem fechados por horas, dias e até meses após

a ocorrência daquele evento, mesmo após cessar o desconforto visual por ofuscamento (REA, 1984; REINHART; VOSS, 2003).

É possível melhorar as condições de iluminação natural nas edificações, através de estratégias adequadas que possibilitam o controle do ofuscamento visual e proporcionam uma maior uniformidade da luz, com a diminuição das altas iluminâncias que ocorrem próximo às aberturas. Se o propósito do uso destes elementos for o controle térmico da edificação, as proteções solares externas são mais eficientes que as internas devido ao efeito estufa.

A relação entre térmica e iluminação natural pode parecer conflituosa, pois à medida que sombreamos o ambiente, evitando a incidência direta do sol e o aquecimento do mesmo, contribuímos também para diminuição da iluminância interna do mesmo. Assim, é importante equacionar as questões térmicas que contribuem para a diminuição do consumo de refrigeração e questões referentes à iluminação natural que, se bem resolvidas, reduzem o consumo da iluminação artificial. O tamanho das aberturas e a necessidade de sombreamento devem ser analisados sob o ponto de vista térmico e luminoso, tendo em vista que o aumento das aberturas implica em maior iluminância interna e também em maiores ganhos e perdas da carga térmica assim como maior probabilidade de ocorrência do ofuscamento (PEREIRA; MUELLER, 2007).

A economia de energia através da iluminação natural é possível apenas quando há integração da luz natural com a artificial.

Porém verifica-se que grande parte deste potencial não é aproveitada de forma satisfatória, em edifícios de escritório no Brasil (GHISE, TINKER, 2004).

A maior parte destas edificações é iluminada através de sistemas artificiais, desconsiderando o uso da luz natural integrada a este sistema. Este potencial deve ser aproveitado através de estratégias apropriadas, visando propiciar um equilíbrio entre a captação da luz natural e o aumento da carga térmica. Assim, é importante equilibrar sabiamente o ingresso de luz difusa, bloqueando o calor gerado pela luz solar direta, que cria problemas de conforto térmico e visual (AMORIM, 2002).

O grande potencial de economia de energia existente nos edifícios de escritório, devido à integração da luz natural pela artificial têm sido demonstrados por diversos pesquisadores (RUPP, 2011; DIDONÉ; PEREIRA, 2010; GHISI; TINKER, 2004; CARLO et al , 2004; SOUZA, 2003).

Análises do desempenho energético deveriam ser realizadas durante o processo de

projeto, pois tem uma influência direta no desempenho térmico e luminoso das edificações.

Diversas variáveis arquitetônicas interferem na qualidade e quantidade da iluminação natural resultante nas edificações. Apesar da importância deste conhecimento para a elaboração de projeto mais adequados do ponto de vista da iluminação natural, no Brasil ainda há uma carência de conhecimentos e estudos que indiquem aos projetistas o que estes devem considerar neste sentido. Questões como a profundidade máxima que a iluminação natural consegue alcançar e o impacto das proteções solares devem ser mais bem exploradas no desenvolvimento de estudos (ALBUQUERQUE; AMORIM, 2012).

Considerando todas as questões expostas acima o problema que esta pesquisa visa responder pode ser resumido nas seguintes questões: como deve ser o projeto da iluminação natural em edifícios de escritório na cidade de São Paulo visando à satisfação dos usuários, conforto visual e economia de energia? Como fazer a integração da iluminação natural à artificial? Qual é a melhor metodologia para o projeto e a avaliação da iluminação natural em edifícios de escritório?

Justificativa e Relevância do Tema Proposto

A luz natural pode contribuir de forma significativa para atender requisitos funcionais, ambientais e econômicos (AMORIM, 2007), além de promover ambientes mais saudáveis e produtivos influenciando o sistema circadiano dos usuários e proporcionando conforto psicológico aos mesmos (MARTAU, 2009; FIGUEIRÓ, 2010).

Além da questão da saúde, o uso da luz natural pode reduzir o consumo de energia nas edificações, se usada de forma integrada com a iluminação artificial. A importância em economizar a energia em edifícios de escritório deve-se, principalmente, ao seu grande impacto ambiental, ocasionado pelo consumo energético da iluminação artificial, devido ao prolongado horário de uso destes espaços.

Visando a eficiência energética, além do uso integrado da luz natural à artificial, os sistemas de iluminação artificial devem ser eficientes, trabalhando de forma conjunta em prol deste objetivo.

Os sistemas de iluminação artificial são responsáveis pelo consumo de grandes quantidades de energia no setor comercial e a maioria destes edifícios ainda está equipada com sistemas de iluminação energeticamente ineficientes (GHISE, TINKER,

2004).

Outra problemática própria da utilização da iluminação natural em edifícios de escritório é a adequação do projeto para a captação de luz solar de forma difusa, evitando a incidência da radiação solar direta que pode causar o ofuscamento e o aumento da carga térmica no interior das edificações, o que resulta na necessidade de uma maior potência de refrigeração.

A luz dos ambientes se distribui de maneira peculiar dependendo das características do sistema de iluminação utilizado no projeto. O entendimento dos conceitos gerais de todas as variáveis que interferem na iluminação natural torna-se uma questão fundamental para os projetistas que desejam tirar partido desta fonte de energia abundante e gratuita.

Diante desta situação surge a necessidade de estudar estratégias para o projeto da iluminação natural em edifícios de escritório que visem o conforto visual e a economia de energia, considerando a integração da iluminação natural à artificial.

Porém verifica-se que diversos edifícios de escritório com certificação ambiental, construídos na cidade de São Paulo a partir do ano 2000, não levam em consideração uma análise integrada das diversas questões que interferem na iluminação natural. Observa-se que as estratégias de projeto para a iluminação natural foram elaboradas sem considerar conjuntamente as questões de disponibilidade de luz natural e conforto visual dos ocupantes, sob a perspectiva de como o comportamento dos ocupantes podem interferir no nível da iluminação natural ao longo do ano e consequentemente na redução de consumo de energia elétrica devido à integração da luz artificial à natural.

Isto ocorre devido às métricas² usadas para avaliar a iluminação natural nas edificações que não contemplavam de forma integrada todas as questões que devem ser verificadas: disponibilidade de luz, conforto visual, comportamento dos usuários na utilização dos dispositivos de sombreamento interno.

A certificação ambiental é um sistema de avaliação que pretende verificar o grau de sustentabilidade das edificações atestando o cumprimento de pré-requisitos que garantam um menor impacto no meio ambiente, na saúde e conforto dos usuários.

Elas têm caráter voluntário e funcionam como instrumento para a valorização dos

² Uma métrica é uma combinação matemática de medidas e / ou dimensões diferentes e / ou condições representadas numa escala contínua (Mardaljevic et al, 2009)

edifícios no mercado.

Estas certificações ambientais também conhecidas como certificações “*green buildings*” foram criadas em países do hemisfério norte a partir da década de 1990, como tentativa de criar uma ferramenta de avaliação para verificar o impacto ambiental das reformas, operação e construção de edificações (MARCONDES, 2010).

Cada sistema de certificação possui sua especificidade, mas em termos de método a tendência mundial é a execução desta análise através de *checklists* que geram pontuações numéricas ou qualitativas aplicada a todas as fases do ciclo de vida do edifício: programa, concepção, execução, ocupação, manutenção, reabilitação e demolição. Estes diversos requisitos e critérios fornecem um resultado final que classifica o empreendimento de acordo com as regras preestabelecidas do sistema de certificação utilizado.

Nesta tese, quando houver referência à certificação ambiental no Brasil, o enfoque principal será sobre os selos LEED e AQUA-HQE, que tem referenciais específicos para edifícios de escritório. Estas duas certificações tratam a questão da iluminação natural e artificial como requisitos válidos para a bonificação.

A iluminação natural da edificação na certificação LEED é avaliada na categoria: Qualidade Ambiental Interna, no item *Daylight credit* 8.1.

Nesta certificação, até recentemente, as métricas usadas para avaliar a iluminação natural eram estáticas, isto é, não consideravam as condições climáticas ao longo do ano. As primeiras versões desta certificação, até a versão LEED v2.1³, usavam o Fator de Luz do Dia (FLD), também conhecido como *Daylight Factor* (DF) para a avaliação da iluminação natural. *Daylight Factor* é a razão entre o nível de iluminação interno e externo, sob a condição padrão de céu encoberto definida pela CIE⁴.

Para a bonificação do projeto, nesta categoria, era necessário alcançar um *Daylight Factor* mínimo de 2% (excluindo toda a penetração da radiação direta do Sol) para 75% de todo o espaço ocupado por tarefas visuais críticas (USGBC, 2002).

A partir da versão LEED V2.2 até a versão LEED 2009, a bonificação para o item iluminação natural mudou para uma métrica conhecida como *point-in-time*, isto é que considera cálculos pontuais que medem níveis de iluminação em uma data e hora

3 A versão LEED v2.1 foi lançada em novembro de 2002. Disponível em <
<http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEEDv2.1RS%204-8-03.pdf> > Acesso em: 05 nov. 2016

4 Commission Internationale de l'éclairage (Comissão Internacional de Iluminação)

específicas, sob uma condição de céu específica.

No caso do LEED versão 2.2⁵ era necessário demonstrar que a iluminação atingia no mínimo 269 lux para no mínimo 75% de toda a área ocupada regularmente, sob condição de céu claro, no período da tarde do equinócio, em uma altura de 80cm do nível do chão (USGBC, 2005).

A versão do LEED 2009 pedia, neste requisito, que o método de simulação computacional demonstrasse que o nível de iluminação atingia valores mínimos de 269 lux e máximos de 5400 lux, para a condição de céu claro nos dias 21 de setembro às 9h e 15h. Os projetos com dispositivos de sombreamento automatizados deveriam demonstrar que atingiam pelo menos o valor de 269lux (USGBC, 2008).

Apenas a partir de 2013, na última versão (LEEDv4) é que foram introduzidas as métricas dinâmicas de modelagem da luz natural baseadas no clima (CDBM). Esta última versão foi baseada nas recomendações da IESNA⁶ (norma IESNA-LM-83-12), que utiliza as métricas dinâmicas conjuntamente (*Spatial Daylight Autonomy* e *Annual Sunlight Exposure*) (REINHART, 2015).

Na certificação AQUA para edifícios comerciais de escritório, a questão da iluminação natural figura na categoria 10, chamada "Conforto Visual". O AQUA utiliza o FLD como métrica de avaliação da iluminação natural desde a primeira versão do referencial. A última versão do referencial para Edifícios não residenciais, que entrou em vigor a partir de junho de 2016, pede no requisito da categoria 10 (Conforto visual) que os edifícios de escritório que estão diretamente expostos à fachada comprovem que o FLD $\geq 1,2\%$ para 80% da superfície destes ambientes (FUNDAÇÃO VANZOLINI e CERWAY, 2016).

Mardaljevic et al (2009) afirmam que a concepção de projetos que tem como referência o *Daylight Factor (DF)*, para os estudos da iluminação natural tem grandes consequências no desempenho das edificações. Isto ocorre porque aquela métrica é insensível à orientação das fachadas e variações das condições de céu, não considerando a existência do Sol em sua avaliação. Consequentemente o balanço entre controle solar e disponibilidade de luz, de forma a propiciar uma boa iluminação, pode não ser alcançado.

Nos referenciais abordados acima, os valores de *Daylight Factor (DF)* máximos não

⁵ Lançada em outubro de 2005

⁶ Illuminating Engineering Society of North America, IES LM-83-12. Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)

são estabelecidos podendo levar a um entendimento de quanto maior este valor, melhor, o que não é verdade, pois o nível de iluminação excessivo pode causar ofuscamento.

Mesmo o método *point-in-time* que considera a avaliação em alguns horários do dia e época do ano é também simplificado, pois demonstra uma situação pontual que não tem uma grande abrangência ao longo de todo o ano, pelo fato da luz natural ser variável ao longo de todas as épocas do ano e horas do dia.

Alguns profissionais da área utilizam estas métricas mais simplificadas em conjunto com a avaliação do diagrama solar e da análise dinâmica de sombreamento. Porém como estes estudos de insolação são realizados de forma independente da avaliação da luz natural, principalmente se o método usado para esta avaliação não considera a radiação solar direta, como é o caso do *Daylight Factor*, isto tem uma influência nos resultados finais, pois estes não apresentarão a influência da luz refletida do Sol.

Os métodos mais simplificados também não consideram a influência dos usuários na quantidade de luz disponível do ambiente, devido aos ajustes que os mesmos fazem nos dispositivos de sombreamento interno (persianas e telas solares).

Este fato resulta em valores internos de iluminação superestimados ao longo do ano, pois não considera a redução do nível de iluminação interno que depende da frequência de acionamento dos dispositivos de proteção solar internos (persianas e telas solares) que, por sua vez, serão regulados pelos usuários para melhorar o conforto visual dos mesmos.

Há vários programas de simulação da luz natural que permitem simular métricas dinâmicas da modelagem da luz com o clima (CDBM), que incorporam algoritmos em seus métodos de cálculo, possibilitando assim verificar a intervenção dos usuários na variação da luz natural, devido aos ajustes dos dispositivos de sombreamento. (Daysim⁷, Diva⁸, Spot Pro⁹)

Apesar da última versão do LEED (v4) ter incorporado as métricas dinâmicas para a avaliação da luz natural, as consequências desta nova forma de avaliação ainda não tiveram repercussão nas edificações construídas, pois é muito recente a utilização deste referencial no mercado.

⁷Disponível em < <http://daysim.ning.com/>>

⁸ Disponível em < <http://diva4rhino.com/>>

⁹ Disponível em <<https://www.daylightinginnovations.com/spot-home>>

Para concluir, podemos afirmar que a iluminação natural tem grande influência no resultado final do desempenho da edificação, razão pela qual as métricas mais adequadas para esta avaliação devem considerar os aspectos temporais e espaciais da luz natural, assim como o conforto visual e as intervenções dos usuários.

Definição do Objeto de Estudo

O objeto de estudo do presente trabalho é a iluminação natural para edifícios de escritório, na cidade de São Paulo.

Objetivos

Objetivos Geral

Definição de diretrizes e procedimentos para elaborar a avaliação do desempenho luminoso do projeto de iluminação natural para edifícios de escritório do tipo panorâmico, localizados na cidade de São Paulo, visando à economia de energia e o conforto visual dos usuários.

Objetivos Específicos

1. Elaboração de modelos de referência que representem a tipologia de edifícios de escritório construídos em São Paulo entre 2000 e 2015, para avaliação da iluminação natural
2. Definição de critérios de desempenho luminoso.
3. Avaliação de desempenho da iluminação natural em tipologias correntes de edifícios de escritório construídos entre 2000 e 2015, na cidade de São Paulo. Esta avaliação teve como objetivo verificar características dos projetos e a sua relação com a iluminação natural e conforto visual através das seguintes variáveis: profundidade de alcance da luz natural para a definição da zona passiva de iluminação¹⁰, transmissão luminosa dos vidros, influência das orientações e de dispositivos de proteção solar externos (brises) e internos (persianas), considerando a atuação dos usuários.
4. Determinação da zona passiva de iluminação para a tipologia de escritórios

¹⁰ Zona passiva de iluminação neste trabalho será considerada como a área do ambiente em que a luz natural possui níveis úteis de iluminação de forma a suprir as necessidades para as tarefas ali desempenhadas ou que pode ser usada junto com a iluminação artificial de forma complementar.

panorâmicos, no contexto climático da cidade de São Paulo.

Esta avaliação, realizada para a cidade de São Paulo, pretende ser utilizada como fomentadora da discussão, de forma que esta avaliação seja realizada futuramente para outras latitudes e zonas climáticas no Brasil.

Hipótese

A tese parte da hipótese que nem todos os edifícios de escritório com certificação ambiental na cidade de São Paulo, construídos no período de 2000 a 2015 e que se enquadram dentro das tipologias predominantes, atendem de modo satisfatório as condições de iluminação natural, segundo as recomendações hoje em vigor.

As formas de avaliação utilizadas para a certificação da iluminação natural nos edifícios de escritório neste período não atendem, em sua totalidade, o entendimento mais atual do que é uma iluminação adequada, pois usavam métricas de iluminação isoladas que não vislumbravam todos os quesitos do que é o uso mais adequado da iluminação natural, segundo o entendimento atual.

Esta pesquisa parte da premissa que o projeto adequado da iluminação natural em edifícios de escritório deve levar em consideração, na metodologia da análise de desempenho, métricas de iluminação natural que relacionam a admissão da luz considerando a influência do usuário e a análise do ofuscamento conjuntamente, para a verificação da adequação da proposta. O uso de métricas que não consideram a presença da radiação direta, a interação com o usuário e a análise do ofuscamento integradas pode levar a uma concepção de fachada que não contempla o conforto visual dos usuários e a eficiência energética.

Etapas do Método

O método empregado nesta pesquisa consiste nas seguintes etapas:

1. Levantamento das tipologias de escritório com certificações LEED e AQUA que foram construídas entre 2000 e 2015 na cidade de São Paulo,
2. Verificação das principais características recorrentes nas tipologias estudadas para a elaboração dos modelos-base, que representem os edifícios construídos neste período, utilizadas em simulações computacionais desta pesquisa,
3. Levantamento de métricas e procedimentos para a avaliação da iluminação

natural considerando aspectos como desempenho luminoso e energético relacionados às questões da iluminação natural,

4. Definição de critérios relacionados à boa iluminação natural em edifícios de escritório, visando o conforto visual, e a eficiência energética,
5. Realização de simulações computacionais em modelos-base para verificar a influência de variáveis arquitetônicas no desempenho da iluminação natural. As simulações foram realizadas no software *Rinocheros Nurbs 3D*, com o *plugin Diva*. O *plugin Diva* realiza de forma integrada análise da iluminação natural usando o *Radiance/ DAYSIM* e análises de carga térmica usando o *Energy Plus*. Estes softwares são todos validados pela comunidade científica. (JAKUBIEC; REINHART, 2011),
6. Elaboração de uma tabela síntese para melhor compreensão dos resultados.
7. Ordenação das melhores propostas em ordem decrescente (da melhor para a pior) para ajudar na avaliação das mesmas, segundo um critério de pontuação definidos por esta pesquisa,
8. Conclusões gerais

O detalhamento do método da pesquisa de forma mais aprofundada pode ser verificado no capítulo 4 desta tese.

Produtos da tese

Os produtos da tese são: (I) proposta de método de avaliação da iluminação natural em edifícios de escritório, (II) modelos-base de edifício de escritório da cidade de São Paulo, que representem a geração de edifícios construídos entre 2000 e 2015, (III) elaboração de critérios de desempenho para a avaliação da iluminação natural em edifícios de escritório, (IV) Avaliação de tipologias correntes de edifícios de escritório construídos no período de 2000 a 2015 e conclusões gerais sobre a influência do padrão construtivo na iluminação natural dos modelos avaliados, (V) determinação da zona passiva de iluminação, para a tipologia de escritórios panorâmicos, no contexto climático da cidade de São Paulo.

Estrutura do Trabalho

A tese está estruturada em 6 capítulos e está dividida em 4 partes conforme a descrição a seguir:

A primeira parte da tese é composta pela introdução que delimita o assunto que foi abordado na pesquisa e aborda aspectos relevantes para situar o tema, destacando-se os seguintes itens: colocação do problema, a justificativa e relevância do tema proposto, definição do objeto de estudo, objetivos gerais e específicos, etapas do método e produtos da tese.

A segunda parte da tese é composta pelos capítulos 1 e 2. Apresenta a revisão bibliográfica que aborda a literatura existente e selecionada, através de pesquisas e estudos realizados sobre o tema.

O **capítulo 1** aborda questões relativas à a iluminação natural e os ambientes de trabalho entre as quais podemos citar: a percepção da luz nos espaços de trabalho; iluminação natural e saúde dos usuários, questões sobre a eficiência energética, o desempenho térmico e luminoso em edifícios de escritório e a integração da iluminação natural à artificial.

O **capítulo 2** apresenta as métricas e métodos para a avaliação da iluminação natural.

A terceira parte da tese apresenta o processo experimental e a análise dos resultados. Aborda a base empírica da pesquisa através dos procedimentos e técnicas para a coleta dos dados e apresenta o instrumental usado na pesquisa. Esta parte é composta pelos capítulos 3, 4 e 5.

O **capítulo 3** aborda o método da pesquisa com descrição das etapas realizadas: levantamento dos dados da amostra selecionada (edifícios de escritório construídos a partir do ano 2000), elaboração do modelo-base, definição dos critérios e métricas da iluminação natural, simulações computacionais, elaboração da tabela síntese de resultados, ordenação dos resultados e conclusões.

O **capítulo 4** apresenta o método proposto pela pesquisa para a análise do desempenho luminoso através de duas etapas. A primeira etapa consiste na elaboração de uma tabela síntese com resultados das diferentes categorias da iluminação e a segunda etapa consiste na classificação e ordenação das alternativas de projeto.

O **capítulo 5** aborda os estudos analíticos: descreve os modelos e dados de entrada das simulações, apresentando os resultados dos diferentes cenários avaliados.

A **parte 4** é composta pelo capítulo 6, referências bibliográficas e apêndices

O **capítulo 6** apresenta considerações gerais sobre a pesquisa apontando as

INTRODUÇÃO

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

limitações do trabalho e sugestões de temas para pesquisas futuras que visam dar continuidade ao trabalho

CAPÍTULO 1 - A ILUMINAÇÃO NATURAL E
OS AMBIENTES DE TRABALHO

CAPÍTULO 2 - MÉTRICAS E MÉTODOS
PARA A AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL



Smith Group JJR

PARTE 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 ILUMINAÇÃO NATURAL E OS AMBIENTES DE TRABALHO

A luz natural é uma fonte abundante de energia, que proporciona inúmeros benefícios aos seres humanos. Ela tem sido associada à satisfação e bem-estar dos usuários, influenciando o estado mental, o humor, aspectos psicológicos e a saúde geral dos mesmos. Além destes fatores, podemos citar sua influência no aumento da produtividade em ambientes de trabalho, redução do consumo de energia e sua contribuição na busca pela sustentabilidade das construções (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003; EDWARDS; TORCELLINI, 2002).

Para ser considerada adequada ou não, a iluminação de um espaço arquitetônico qualquer deve ser ponderada sob o ponto de vista do atendimento às necessidades das funções nele pretendidas ou realizadas

Além dos aspectos quantitativos deve-se também observar os aspectos da qualidade luminosa de um ambiente que envolve a qualidade da fonte de luz (espectro da radiação, temperatura de cor, índice de reprodução de cores) e o seu impacto psicológico nos usuários, a distribuição luminosa envolvendo aspectos de luz e sombra dentro do espaço e que interferem no conforto visual, ente outros.

Conceitos bastante diferentes podem ser requeridos para a iluminação de ambientes para a realização de tarefas produtivas em comparação com aqueles destinados tão somente à fruição, à contemplação, ao deleite.

Para ambientes destinados ao trabalho, níveis mínimos de iluminação costumam constar de normas e recomendações que tratam da matéria, sem prescindir, contudo, de providências que assegurem também qualidade da mesma, com o controle do ofuscamento e a homogeneidade na distribuição, por exemplo. É necessário evitar a incidência direta da radiação solar nos planos de trabalho que causam o ofuscamento. Tais cuidados atenuam, e até mesmo evitam a ocorrência de cansaço visual.

A luz revela a forma, o espaço, a textura e a cor – todos, elementos considerados fundamentais na arquitetura, portanto a experiência vivenciada pelas pessoas nos espaços tem uma relação intrínseca com os aspectos quantitativos e qualitativos da luz que interferem na melhor ou pior visualização dos ambientes, objetos do entorno e tarefas a serem desempenhadas afetando o conforto, a segurança, as sensações psicológicas e a produtividade nos espaços de trabalho.

1.1 Percepção da Luz nos espaços de trabalho

Um bom ambiente luminoso deve ser confortável, prazeroso, não ser poluído visualmente, além de ser apropriado para a função nele desempenhada. Para tanto, os requisitos qualitativos e quantitativos devem ser buscados com o mesmo rigor, visando atender às necessidades de informação visual dos usuários.

Os principais parâmetros que contribuem para a caracterização do ambiente luminoso são: iluminância, distribuição da luminância, ofuscamento, direcionalidade da luz, aspectos da cor da luz e superfícies, cintilação, luz natural e manutenção (ABNT, 2013).

Embora seja necessária a provisão de uma iluminância suficiente para uma determinada tarefa, em muitos exemplos a visibilidade depende da maneira pela qual a luz é fornecida, das características da cor da fonte de luz e da superfície em conjunto com o nível de ofuscamento do sistema.

O conforto visual depende da tarefa a ser executada. O que é considerado confortável em um espaço de lazer pode ser considerado desconfortável em um espaço de trabalho. A qualidade da iluminação não pode ser verificada apenas com medidas fotométricas, sem avaliar conjuntamente a interferência no psicológico e fisiológico dos seres humanos (BOYCE, 2003).

Uma boa qualidade da iluminação ajuda a melhorar o desempenho visual das tarefas, ajuda na comunicação interpessoal e melhora o sentimento de bem-estar, ao passo que uma iluminação sem qualidade é desconfortável, confusa e prejudica no desempenho visual (IESNA, 2011).

O desempenho luminoso satisfatório de um espaço pressupõe, além de níveis mínimos de iluminação de acordo com a função do espaço, aspectos da qualidade luminosa do ambiente.

A qualidade luminosa de um ambiente depende de diversos fatores que variam de pessoa para pessoa e também de acordo com diferenças culturais. A expectativa e experiências passadas dos usuários em relação à iluminação também interferem nesta avaliação. Diversos fatores devem ser considerados para a avaliação da qualidade luminosa: aspectos visuais, aspectos psicológicos, aspectos não visuais que interferem na fisiologia humana, entre outros (IESNA, 2011).

Os aspectos visuais são um parâmetro para verificar a qualidade da iluminação. Este considera o conforto visual e condições adequadas para a realização das tarefas. O conforto visual está relacionado ao nível de esforço de adaptação do usuário, que quanto menor,

maior será a sua sensação de conforto. Este esforço de adaptação refere-se, do ponto de vista fisiológico, as condições específicas para realizarmos determinadas tarefas. No caso de atividades que tenham muitos detalhes e que necessitam rapidez para a sua execução níveis mais altos de iluminação são requeridos. Caso isto não ocorra o usuário deverá fazer um esforço visual (VIANNA; GONÇALVES, 2001; VIANNA, 2008).

Uma provisão de uma maior quantidade de luz possibilita uma melhoria no desempenho visual, permitindo às pessoas a desenvolverem tarefas com mais exatidão devido à melhoria da visão. Porém este aumento do nível de iluminação não é acompanhado pela melhoria da visão de forma ilimitada. Vários estudos demonstram que existe um ponto de saturação da visão, em torno de 2000 lux, a partir do qual qualquer aumento interfere pouco na melhoria da acuidade visual. Outra questão que deve ser observada em relação a adotar um nível de iluminação mais alto do que o recomendado é a econômica porque quanto maior o nível de iluminação maior o consumo de energia, de instalação e manutenção (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Porém cabe ressaltar que o conforto visual não está relacionado apenas à quantidade de luz, mas também a outros fatores. No caso de atividades laborais podemos citar outras questões como boa a distribuição da luz, ausência de contrastes excessivos, como a incidência do sol direta no plano de trabalho, pois causam o cansaço visual (ALUCCI, 2007).

A distribuição das luminâncias no campo da visão controla o nível de adaptação dos olhos e por isto é um fator importante a ser considerado para o conforto visual. Portanto a luminância do campo de trabalho deve estar relacionada com o seu entorno imediato. Esta distribuição bem balanceada amplia a acuidade visual e a sensibilidade ao contraste permitindo uma maior nitidez da visão. Diferenças entre as luminâncias no campo da visão muito alta podem ocasionar ofuscamento e fadiga visual devido à contínua readaptação dos olhos (ABNT, 2013).

O conceito de boa distribuição da luz depende da atividade a ser realizada no espaço. Em locais de trabalho uma iluminação mais homogênea, isto é, distribuída de forma uniforme para evitar grandes contrastes é desejável.

A uniformidade da iluminância é a razão entre o valor mínimo e o valor médio (Emin/Emed). A norma de iluminação artificial (NBR ISO/CIE 8995-1) recomenda relações entre a iluminância da área da tarefa e o seu entorno. Na área da tarefa a uniformidade não pode ser menor do que 0,7 e no entorno não pode ser inferior a 0,5 (ABNT, 2013).

O ofuscamento é uma sensação visual causada por uma inadequada distribuição da luminância com um excessivo e incontrolável brilho ou o contraste entre uma área brilhante

e outra escura no campo da visão. Ele causa desconforto ou reduz a habilidade de ver objetos e por este motivo é um aspecto importante no conforto visual, pois dificulta a realização de determinadas tarefas (BACKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993).

Segundo Moore (1991), o ofuscamento pode ser dividido em duas categorias e diferenciam-se pelo grau de perturbação que provocam: o inabilitador e o desconfortante. O inabilitador é o ofuscamento por redução da capacidade para ver ou ofuscamento fisiológico - efeito de veladura que obscurece a visão dos objetos no entorno imediatamente próximo à fonte luminosa. O desconfortante ou deslumbramento é o ofuscamento por sensação de desconforto visual ou ofuscamento psicológico.

O ofuscamento pode ser direto quando a fonte de luz incide diretamente na visão ou indireto quando a fonte é proveniente da reflexão de uma superfície.

Veitch e Newsham (1998) apontam outros fatores a serem considerados na qualidade luminosa: espectro da radiação, reprodução de cor, temperatura de cor e a aceitação do usuário.

As características da cor de uma fonte de luz podem ser determinadas por dois parâmetros: temperatura de cor (K) e o índice de reprodução de cores (IRC).

A temperatura de cor é a grandeza que define a cor da luz emitida pela lâmpada, isto é a sua tonalidade de cor, que quanto mais alta a temperatura em Kelvin mais branca será a luz e quanto mais baixa mais amarela e avermelhada (SILVA, 2004).

A temperatura de cor pode ser de diferentes tonalidades ou aparências de cor: quente, neutra e fria. As fontes de luz com temperatura de cor mais baixa têm aparência de cor quente, são mais acolhedoras e remetem ao descanso. Por este motivo são recomendadas para atividades não laborativas. As cores neutras e frias são mais estimulantes, sendo recomendadas para atividades laborativas (VIANNA, 2008).

A escolha da temperatura de cor deve levar em consideração outros fatores além dos relacionados ao desempenho visual: fatores psicológicos, estéticos, climáticos, culturais e sociais (BELLIA; BISEGNA; SPADA, 2011).

O índice de reprodução de cor mede a capacidade das fontes de luz de reproduzir as cores de um objeto. Possui uma relação direta com a reprodução de cores obtida com a luz natural, em um dia de sol de verão por volta do meio-dia. A escala qualitativa varia de 0 a 100, portanto a luz natural tem 100% de reprodução e quanto mais longe deste valor pior será a reprodução de cores (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

A qualidade sob o ponto de vista do conforto visual está relacionada à vertente fisiológica

de conforto. Porém sabe-se que o conforto também sofre influência dos aspectos psicológicos, pois depende da interpretação subjetiva que os indivíduos fazem do meio que os cerca, atribuindo significados a um determinado estímulo ambiental (VIANNA 2008).

Os aspectos psicológicos podem ser avaliados de acordo com o prazer do ambiente luminoso que é subjetivo para cada indivíduo, pois tem como base experiências passadas e informações conhecidas. Portanto a percepção do mundo a nossa volta depende da interpretação do cérebro às imagens, não sendo restrito apenas pelo estímulo físico na retina. Para tal o indivíduo recupera dados da memória de arquivos ligados à razão, emoção, linguagem ou funções motoras do cérebro (BARBOSA, 2010).

Segundo Basso (2008), a atmosfera do espaço pode ser definida como a capacidade da luz de agregar sentimento ao espaço, que estabelece um parâmetro inconsciente, de acordo com impressões relacionadas a experiências anteriores que resultam uma sensação específica.

A atmosfera do local tem impacto na resposta emocional do usuário que memoriza seu grau de satisfação e conforto do espaço vivenciado. As variações de luminâncias e cores reforçam a atratividade, provocam emoções e afetam o estado de espírito dos observadores e a sua impressão sobre este espaço. Ela é influenciada pela forma como a luz é distribuída no ambiente, a relação entre o contraste e a uniformidade. Pode produzir uma sensação de relaxamento, intimidade, estimulação, entre outras.

Diversos estudos demonstram que a atmosfera de um ambiente proporcionada pela temperatura de cor da lâmpada pode ajudar na interação social e a resolver conflitos interpessoais. Uma pesquisa conduzida em um escritório demonstrou que os participantes expostos à luz quente tinham maior facilidade de resolver conflitos interpessoais e a trabalhar em um clima cooperativo do que aqueles expostos à luz com temperatura de cor mais fria (BARON¹¹ et al, 1992 apud RASHID; ZIMRING, 2008).

Considerando as questões abordadas anteriormente podemos concluir que a iluminação afeta o estado de espírito das pessoas, produzindo sensações diversas que vão desde o estado de relaxamento até o estado de alerta, influenciando na percepção dos mesmos sobre espaço que os rodeia e interferindo em suas relações pessoais.

¹¹ Baron, R. A., Rea, M. S., & Daniels, S. G. (1992). Effects of indoor lighting (illuminance and spectral distribution) on the performance of cognitive tasks and interpersonal behaviors: The potential mediating role of positive affect. *Motivation and Emotion*, 16, 1-33.

1.2 Iluminação Natural e a saúde dos usuários

A iluminação natural afeta o desempenho dos seres humanos em três aspectos principais: visibilidade, saúde e estado de espírito (BERTOLOCCI, 2007).

A influência da iluminação na saúde está relacionada às seguintes questões: ao esforço visual e aos aspectos não visuais da luz. O esforço visual, causado por uma iluminação inadequada tem como consequências: perturbações visuais, cansaço visual, ofuscamento, dores de cabeça, variações no sistema nervoso, acidentes e erros no trabalho e diminuição da produtividade.

Os aspectos não visuais da luz, também conhecidos como efeitos biológicos da luz interferem no sistema circadiano¹² ou ritmo circadiano dos seres humanos influenciando aspectos químicos, biológicos e comportamentais. O sistema circadiano funciona como um relógio biológico interno que regula diversas funções no corpo: ritmo de sono e vigília, temperatura corporal, secreção de hormônios como melatonina, serotonina e cortisol (IESNA, 2011).

A informação da luz é capturada pelos olhos através de um tecido nervoso formado por fotorreceptores, os cones e bastonetes, os quais transformam a energia luminosa em impulsos nervosos levados ao cérebro. Eles são responsáveis pela informação visual, fazendo funcionar o sistema visual que permite aos seres humanos avaliarem o ambiente através da percepção do espaço e dos detalhes (IESNA, 2011).

No início do séc. XXI foi descoberta a existência de outro fotorreceptor na retina conhecido como células ganglionares da retina (ipRGC), que é independente da visão e gerou um grande interesse na comunidade científica (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002).

Estas células tem uma proteína chamada melanopsina que é sensível à luz e tem capacidade de processar a informação luminosa e de conduzi-la aos núcleos supraquiasmáticos no hipotálamo anterior, responsáveis pela regulação do ciclo circadiano (SOARES, 2009).

O ciclo circadiano regula os ritmos fisiológicos e modifica o estado de ânimo dos seres humanos. Ele designa o período de 24 horas, que se baseia no ciclo biológico de quase todos os seres vivos, sendo influenciado pela variação da luz entre o dia e a noite (IESNA, 2011; EDWARDS; TORCELLINI, 2002).

Os neurônios dos núcleos supraquiasmáticos, responsáveis pelos ciclos circadianos,

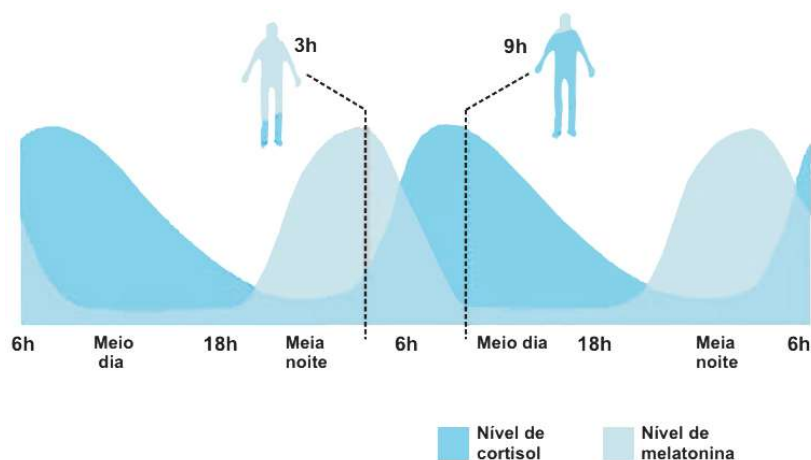
¹² Do Latim circa=cerca de die=dia. Relógio Biológico

constituem o nosso relógio biológico, porque informações sobre o ambiente chegam a estes núcleos e sinalizam o que acontece fora do organismo. Estas informações estabelecem parâmetros determinando nossas reações internas e ajustam este relógio “biológico interno” que interpreta os sinais cerebrais e encaminha posteriormente para a glândula pineal (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2012).

A glândula pineal produz a melatonina que é um hormônio regulado pelo sistema de temporização circadiano e que determina a nossa reação em resposta aos padrões de ocorrência da luz natural. A secreção da melatonina induz ao sono, modifica o humor e a agilidade mental e interfere no sistema reprodutivo. Portanto o estímulo mais poderoso para a sincronização do ritmo dia-noite em vinte e quatro horas é a exposição à luz (BOYCE; HUNTER; HOWLETT, 2003).

É possível verificar a influência da luz na regulação química do corpo através da produção do cortisol e da melatonina afetando, desta forma, o estado de ânimo dos seres humanos (Figura 1).

Figura 1: Produção do cortisol e da melatonina ao longo do dia de acordo com a luz natural.



Fonte: Adaptado de <http://www.licht.de>

Com a variação da luz no início da manhã ocorre a produção do cortisol, também conhecido como hormônio do estresse. Este hormônio é responsável pelo estado de alerta e atenção, aumentando a produção de adrenalina e inibição da melatonina e serotonina (BERTOLOTTI, 2007).

A serotonina é um neurotransmissor responsável pelo controle da liberação de alguns hormônios e a regulação do ciclo circadiano. Ela age na regulação do sono, do apetite e a

transmissão de serotonina não tão efetiva pode causar depressão, distúrbios de humor, enxaqueca, entre outros (ARAÚJO, 2013).

O hormônio cortisol é estimulante e a melatonina relaxante. A ausência de luz provoca a produção de melatonina desacelerando as funções corporais preparando o corpo para o descanso noturno. Nesta fase, o corpo secreta hormônios de crescimento que reparam as células durante a noite. Durante a manhã, o nível de melatonina no sangue cai devido à produção do cortisol, o hormônio do estresse que estimula o metabolismo e programa o corpo para as atividades durante o dia. Ao final do dia este relógio interno muda novamente, com a ausência de luz com a diminuição nível de cortisol no sangue.

O equilíbrio do nosso corpo exige um tipo adequado de luz para que seja regulado corretamente pelo ciclo circadiano

A melatonina ajuda a combater distúrbios metabólicos, como diabetes, hipertensão e obesidade, pois este hormônio é um poderoso regulador da secreção e da ação da insulina regulando os estoques energéticos dos seres humanos. Ela participa do controle da ingestão alimentar, do dispêndio energético pelo organismo e do armazenamento de energia nos estoques, como o tecido adiposo e o fígado, tendo como resultado final desse balanço energético o peso corpóreo (AMARAL et al., 2014; CIPOLLA-NETO et al., 2014).

O efeito da luz no ritmo circadiano humano depende de vários fatores: intensidade luminosa, tempo de exposição, comprimento da onda, cor e do horário de exposição (DUFFY; WRIGHT, 2005; ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2012).

A luz natural devido ao seu espectro mais equilibrado tem possibilidade de interferir de forma mais efetiva na sincronização do ritmo circadiano. Porém esta mudança pode ser feita com o uso de lâmpadas que forneçam quantidade de luz suficiente, de forma a conseguir resultados semelhantes à luz natural (BOYCE, 1998).

Algumas pesquisas têm demonstrado que os fotorreceptores de luz responsáveis pelo sistema circadiano têm uma sensibilidade diferente, em termos de comprimento de onda, comparadas ao sistema visual (DUFFY; WRIGHT, 2005).

A luz com baixo comprimento de onda no espectro do visível, onda azul, em torno de 460-480 nanômetros, tem demonstrado ser a mais efetiva para a supressão da melatonina (MÜNCH et al., 2006; PECHACEK; ANDERSEN; LOCKLEY, 2008; VARTANIAN, 2015).

Devido a este fato é importante verificar os efeitos da iluminação artificial no ciclo circadiano, pois é possível alterá-lo de acordo com as características da fonte de luz. A principal causa de queda na produção noturna de melatonina é a fotoestimulação. A exposição à luz de comprimento azul durante a noite que ocorre, por exemplo, quando se

usa equipamentos que possuem lâmpada de LED (televisão, computador, etc) podem bloquear a síntese da melatonina, interferindo no ciclo do sono (PEREIRA; ANACLETO; LOUZADA, 2012).

Algumas pesquisas demonstram que a exposição à luz mais intensa no início da manhã pode diminuir o estado de sonolência, ao passo que esta exposição no final do dia, especialmente com uma fonte de luz com comprimento de onda azul, pode causar uma postergação do sono e diminuição da qualidade do mesmo (MÜNCH et al., 2006).

A luz de comprimento de onda azul também tem influência no aumento do estado de alerta e melhoria do desempenho da capacidade de estudantes e trabalhadores a processar mais rapidamente as informações (LEHRL et al., 2007).

Diversas pesquisas têm comprovado a relação em espaços bem projetados em termos de luz natural e um melhor desempenho dos usuários.

Heschong (2002) conduziu uma pesquisa em três escolas nos Estados Unidos que tinham diversidade de condições da iluminação natural nas salas e aulas. A pesquisa comprovou que há uma melhoria do desempenho escolar dos estudantes associada às melhores condições de iluminação nas salas de aula. Foram aplicados testes de matemática e leitura e os estudantes em salas de aula que possuíam melhores condições de iluminação natural, vista externa e ausência de ofuscamento devido à presença da radiação solar direta apresentaram notas superiores variando de 7% a 27% comparadas aos outros estudantes.

O ritmo circadiano nos seres humanos não tem exatamente 24h, mas um período próximo a este. Por isto ele deve ser ajustado através de pistas externas, sendo que uma das mais eficazes é o ciclo do claro e do escuro, proporcionado pela luz natural (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2012, PECHACEK ; ANDERSEN; LOCKLEY, 2008).

O relógio biológico poderá ficar desregulado se não houver exposição à luz suficiente durante o dia, ou ao contrário se houver a exposição em demasia durante a noite (BELLIA; BISEGNA; SPADA, 2011).

Se o ciclo circadiano do indivíduo não estiver sincronizado com o ciclo da luz natural de 24h podem ocorrer diversos problemas na saúde muitos deles ainda não totalmente entendidos. Dentre estes problemas podemos citar os distúrbios no ciclo do sono, que ocorrem no caso de *Jet Lag* e com trabalhadores de turno noturno (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2012).

O *Jet Lag* é um distúrbio que ocorre com pessoas que viajam para locais os quais há diferença de fuso-horário, devido a não sincronização do organismo às novas condições de iluminação. O relógio biológico se ajusta após três a sete dias, porém vários sintomas de

desconforto são presenciados neste período de ajuste (IESNA, 2011).

Há evidências de que voos no sentido leste apresentam sintomas mais severos e a intensidade dos mesmos varia de acordo com o número de fusos horários percorridos. Alguns sintomas apresentados devido a esta alteração da ritmicidade circadiana são: dores de cabeça, problemas gastrointestinais, diminuição do apetite, dificuldades de manutenção de atenção e concentração e baixo rendimento em tarefas físicas e mentais (WATERHOUSE¹³ et al, 2007 apud PEREIRA; ANACLETO; LOUZADA, 2012).

Os trabalhadores noturnos também apresentam problemas devido a dessincronização do ciclo circadiano, com diminuição do desempenho e problemas de saúde tais como: problemas metabólicos (diabetes, níveis de triglicédeos e colesterol), de sono e cardiovasculares (hipertensão e doenças coronarianas), além de maior risco de câncer (KANTERMAN¹⁴ et al, 2010 apud PEREIRA; ANACLETO; LOUZADA, 2012; MARTAU,2009).

Pesquisas na área demonstram que estes trabalhadores noturnos melhoraram o estado de alerta e a capacidade cognitiva quando trabalham sob condição de luz com maior intensidade (10.000a 12.000lux) do que uma luz de menor intensidade (100 a 150lux) (IESNA, 2011).

A falta de luz pode desencadear nos seres humanos quadros depressivos comuns em países próximos aos polos, durante o inverno. Esta depressão é chamada de Desordem Afetiva Sazonal (SAD) e apresenta como principais sintomas tristeza, irritabilidade, letargia, falta de sono e perda de apetite. Tratamentos feitos com altas doses de luz natural tem se mostrado eficiente no combate desta desordem. Também é possível tratar desta doença utilizando banhos de luz artificial com intensidades e comprimentos de onda apropriadas para isto (MILLET, 1996; IESNA, 2011).

Algumas pesquisas apontam a relação entre exposição à luz artificial noturna e depressão, sugerindo que a exposição noturna à luz desregula o ciclo circadiano, ocasionando desordens de humor e defeitos no metabolismo especialmente se as fontes de luz tiverem comprimento de onda curta (BEDROSIAN et al, 2013).

A exposição à luz natural tem um aspecto importante na saúde, pois permite ao corpo sintetizar a vitamina D, através da absorção de cálcio, fósforo e outros minerais interferindo na formação dos ossos e no fortalecimento dos dentes (IESNA, 2011;

¹³ Waterhouse J, Reilly T, Atkinson G e Edwards B. 2007. Jet lag: trends and coping strategies. Lancet. n. 369, p. 1117-1129.

¹⁴ Kantermann T, Juda M, Vetter C e Roenneberg T. 2010. Shift- work research: Where do we stand, where should we go? Sleep and Biological Rhythms. N. 8, p. 95-105.

EDWARDS; TORCELLINI, 2002).

O tipo de exposição e o tempo de exposição à luz a qual as pessoas são submetidas ao longo do dia geralmente são influenciados pela arquitetura do espaço construído, principalmente nas regiões mais densamente construídas. Os espaços próximos às aberturas das edificações possuem um potencial maior para a regulação do ciclo circadiano, devido à entrada de luz natural que possui intensidades maiores quando comparadas à luz artificial, proporcionando maiores benefícios (PECHACEK; ANDERSEN; LOCKLEY, 2008).

Diversas pesquisas apontam para a predileção das pessoas a ambientes iluminados naturalmente e que possuem vista para o exterior. A iluminação natural está associada à ligação do ambiente interno com o exterior, interferindo positivamente no psicológico das pessoas. Ela conecta as pessoas com as horas do dia, estações climáticas e épocas do ano devido à variação da luz natural sob estas condições (BOYCE ; HUNTER; HOWLETT, 2003; ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2012; RASHID; ZIMRING, 2008).

Em síntese, para o projeto da luz natural e artificial no interior das edificações é importante considerar aspectos da fonte de luz relacionados à intensidade, distribuição, comprimento de onda e tempo de exposição da mesma. Além destes aspectos deve-se considerar também a influência do projeto arquitetônico no ciclo circadiano, considerando as variáveis ligadas às aberturas (orientação e dimensionamento), condições climáticas e as vistas predominantes devido à integração do interior das edificações com o seu exterior. Todos estes atributos interferem na saúde e bem-estar dos seres humanos.

1.3 Eficiência Energética e o Desempenho Térmico e Luminoso das Edificações

A radiação solar deve ser analisada sob dois pontos de vista técnico: o da iluminação natural e o do conforto térmico, pois o balanço entre estes dois quesitos resulta em um ponto ótimo, no qual o edifício terá uma maior eficiência energética.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 5):

“A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente a edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia. ”

Arquitetura tem a função de intermediar os ambientes externos e internos, de forma a dar uma resposta ambiental (térmica, luminosa e acústica) mais adequada, considerando as condições climáticas e o contexto do local aonde será inserida.

O projeto bioclimático e de menor impacto ambiental resulta de uma análise do contexto local, considerando as questões ambientais envolvidas (clima, entorno) para propor soluções apropriadas que respondam a todas estas questões. Ele nasce junto ao partido do projeto e não após a sua concepção.

As principais variáveis que interferem nesta análise climática são: a radiação solar, os ventos, a temperatura, a umidade, a orientação solar, a latitude, a nebulosidade, a disponibilidade de iluminação natural, a precipitação e a altitude.

Diversas estratégias podem ser traçadas na busca de um projeto de menor impacto ambiental e que considera o clima como fator fundamental no lançamento do partido do projeto. Estas estratégias devem contemplar as seguintes questões: implantação e orientação da edificação, a tipologia arquitetônica e construtiva, a relação exterior/ interior, a relação entre cheios e vazios, a relação espacial entre as diversas atividades da edificação, forma e volume do edifício, a localização e o dimensionamento das aberturas, o desenho de cobertura, as proteções solares, o paisagismo, o uso de cores, a especificação dos materiais, entre outras.

As estratégias de projeto devem priorizar o uso de estratégias passivas¹⁵ para obter o conforto ambiental de forma a minimizar o consumo da energia elétrica. Caso isto não seja contemplado nas estratégias projetuais, o edifício tende a depender mais da energia elétrica ou de outras fontes para propiciar o conforto aos seus usuários.

A eficiência energética nas edificações compreende conceitos relacionados às seguintes variáveis: desempenho térmico dos materiais, ventilação natural, iluminação natural e artificial eficientes, uso de recursos renováveis de energia e o uso de aparelhos energeticamente eficientes (LAMBERTS; TRIANA, 2007).

As características dos elementos construtivos da envoltória do edifício que fazem as interações entre o meio exterior e interior tem uma relação direta com o desempenho do mesmo. É o ponto de partida para a determinação da eficiência energética e para as necessidades de sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação (CAMPOS, 2012).

O envelope construtivo deve ser analisado considerando os elementos opacos e os transparentes. Ela tem a função de servir como elemento das condições ambientais como: "admissão de luz e sol, ganho e perda de calor, renovação de ar" entre outras. Nos materiais opacos devem ser avaliadas as características da transmissão térmica dos

¹⁵ Estratégia passiva usa meios naturais (ventilação natural, iluminação natural, etc) com pouco ou nenhum uso de energia elétrica para garantir o conforto dos ambientes.

materiais, bem como cores dos mesmos. As cores mais escuras são apropriadas para climas frios e as mais claras para climas mais quentes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Os elementos transparentes são mais complexos, pois influem nos ganhos e perdas de calor, além de influenciar a iluminação natural e ventilação dos ambientes. É importante analisar as características dos elementos transparentes referentes ao Fator Solar (FS), pois interferem nos ganhos de calor, podendo evitá-lo no período quente e incrementá-lo no período frio ((LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Outras informações importantes a serem consideradas em relação aos elementos transparentes são: transmissividade luminosa (TL), coeficiente de reflexão, coeficientes de absorção, ganho de calor solar, coeficiente de sombreamento e o coeficiente de ganho de calor solar (ASSIS, 1998).

Devido à contribuição para o aumento da carga térmica da radiação solar nos ambientes, torna-se necessário analisar a sua participação sob o ponto de vista térmico e luminoso.

A maneira mais eficaz de proteger uma edificação da radiação solar direta, evitando o ganho térmico da mesma, é através do sombreamento de suas aberturas. Este recurso deve ser bem dimensionado para evitar a incidência direta do sol, sem impedir a entrada da luz natural. Por este motivo, os estudos de iluminação e insolação devem ser realizados de forma integrada com o propósito de encontrar o ponto ótimo entre as duas questões mencionadas.

Do ponto de vista térmico os elementos de sombreamento reduzem substancialmente os ganhos de calor pela insolação direta e difusa diminuindo, conseqüentemente, a carga térmica total dos ambientes. Esta redução vai gerar por sua vez menores temperaturas internas do ar e melhores condições de conforto.

O escritório, por ser um ambiente de trabalho, deve ter como requisito básico a não incidência direta da radiação no plano de trabalho, devido ao ofuscamento causado. É muito comum os usuários deste tipo de espaço utilizar persianas internas para a proteção da radiação solar direta. Isto reduz a iluminação natural no interior do ambiente e não impede o aumento da carga térmica no interior do mesmo.

A vantagem dos brises em relação às persianas deve-se ao fato dos sombreadores externos serem mais eficientes que os internos, considerando as questões térmicas. Isto ocorre devido ao efeito estufa, pois o vidro é transparente aos comprimentos de onda curto (760 a 3.000nm) e opaco aos comprimentos de onda longa (>3.000nm).

Assim, quando a radiação solar atinge o vidro, ela é transmitida para o interior do ambiente

como comprimento de onda curta, sendo absorvida e/ou refletida pelos objetos aí existentes. Essa energia absorvida aquece os objetos e é reemitida ao meio em forma de infravermelho longo, porém ficará retida no ambiente interno, uma vez que o vidro é opaco a comprimentos de onda longa.

O projeto do brise deve bem dimensionado, considerando as questões térmicas junto com as questões referentes à iluminação natural, de modo que este elemento cumpra a sua função de evitar a entrada direta da radiação solar, sem impedir a entrada da luz natural.

O aproveitamento da luz natural aparece como uma ferramenta eficiente na diminuição do consumo energético de uma edificação, porém esta economia só ocorre se o uso da iluminação artificial for reduzido em decorrência do uso da luz natural. Através da luz natural é possível reduzir o dimensionamento e sobrecarga do sistema de iluminação durante o dia e diminuir o dimensionamento do sistema de refrigeração nos meses quentes, pois um sistema de iluminação adequado terá a luz artificial desligada ou diminuída, considerando a quantidade de luz natural presente no momento de execução da tarefa.

A estratégia de uso da iluminação natural visando à eficiência energética ocorre apenas quando há a integração da luz natural com a artificial, que pode ser feita de forma manual ou automatizada. Para tal é necessário a instalação de um sistema com circuitos independentes e reatores dimerizáveis que respondam às variações de iluminação natural do ambiente devido ao uso de sensores fotossensíveis. Esta estratégia de dimerização tem algumas vantagens importantes: a melhoria na distribuição de luz pelo local, o menor consumo possível de energia de todo o sistema e um incremento da vida útil das lâmpadas acarretando ganhos econômicos em função da diminuição da necessidade de reposição das mesmas.

A relação entre térmica e iluminação natural pode parecer conflituosa, pois à medida que sombreamos o ambiente, evitando a incidência direta do sol e o aquecimento do mesmo, contribuimos também para diminuição da iluminância interna do mesmo. Assim, é importante equacionar as questões térmicas que contribuem para a diminuição do consumo de refrigeração e questões referentes à iluminação natural que, se bem resolvidas, reduzem o consumo da iluminação artificial, proporcionando uma maior eficiência energética à edificação.

O correto projeto sob o ponto de vista da iluminação artificial tem grande importância na eficiência energética das edificações e deve considerar diversos fatores como: fontes de luz, luminárias e equipamentos auxiliares eficientes, divisão de circuitos e controles, cores das superfícies internas e mobiliário.

Os sistemas de iluminação artificial têm um grande peso no consumo energético total das edificações, principalmente nos edifícios não residenciais. Os sistemas de iluminação artificial são responsáveis pelo consumo de grandes quantidades de energia no setor comercial e a maioria destes edifícios ainda está equipada com sistemas de iluminação energeticamente ineficientes (GHISE; TINKER, 2004).

A demanda por energia no Brasil vem crescendo a cada ano e para suprir esta demanda é necessário substituir os produtos ineficientes por aqueles com melhor desempenho.

Como regra geral uma iluminação eficiente energeticamente envolve mais o uso de fluorescentes, multivapores metálicos e LED como fontes de luz e menos lâmpadas incandescentes e halógenas.

O Programa Ambiental das Nações Unidas (2011) aponta a tecnologia LED como a alternativa que será mais eficiente energeticamente para iluminação no curto e médio prazo. A tecnologia dos produtos LED tem evoluído ao longo do tempo, porém apenas alguns produtos permitem a substituição de lâmpadas incandescentes e fluorescentes por apresentarem altos fluxos luminosos.

O LED possui baixo impacto ambiental devido ao pequeno consumo energético e sua longa vida útil. Por este motivo espera-se que a curto e médio prazo este produto apresente preços mais acessíveis e com valores acima de 200lm/w, de forma a superar a tecnologia das lâmpadas fluorescentes em termos de eficiência luminosa (PESSOA; GHISI, 2013).

Considerando todas as questões expostas anteriormente verifica-se a importância de um projeto que considera o clima para uma maior eficiência energética das edificações.

A arquitetura dos edifícios de escritório que vem sendo construída na cidade de São Paulo tem se mostrado desvinculada das questões climáticas do local de implantação dos empreendimentos. As soluções de fachadas não são pensadas para o melhor aproveitamento da insolação e ventilação. Isto tem levado a uma generalização de soluções, com projetos que apresentam soluções de fachada semelhantes para diferentes contextos climáticos. As soluções passivas de projeto, isto é, que não utilizam a energia elétrica não vem sendo exploradas de forma eficiente. Busca-se uma melhoria nos sistemas ativos, porém as soluções passivas de projeto têm deixado a desejar.

A escolha equivocada por modelos de construção importados do exterior para o clima brasileiro tem levado a um maior uso de energia para o resfriamento artificial, devido à falta de controle da eficiência da envoltória, sendo responsável por um grande dispêndio de energia nas edificações (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013).

1.4 Integração da Iluminação Natural à Artificial

O uso da iluminação natural integrada ao sistema de iluminação artificial pode proporcionar uma significativa economia de energia elétrica gasta em iluminação (SOUZA, 2003; CARLO; PEREIRA; LAMBERTS, 2004; DIDONÉ; PEREIRA, 2009; RUPP; GHISI, 2013).

Para que ocorra esta integração é necessário que a luz artificial seja ajustada para suplementar os níveis disponíveis pela luz natural, de forma a alcançar a iluminância desejada no ambiente, resultando na redução do consumo de energia elétrica do sistema de iluminação artificial e sistema de resfriamento (IESNA, 2013a).

Alguns edifícios aproveitam a luz natural, porém o sistema de iluminação artificial continua acionado durante todo o período em uso contínuo, mesmo que os níveis de iluminação natural possam suprir parcialmente ou totalmente a quantidade necessária para a realização das tarefas. Para que haja economia de energia, a iluminação artificial deve ser desligada ou dimerizada, de acordo com a luz natural disponível.

A conservação de energia está intimamente relacionada com a disponibilidade de luz natural, as características do edifício, a tipologia da abertura e do entorno. Além destes fatores deve-se considerar um sistema de iluminação artificial projetado para complementar a luz natural, com circuitos independentes e sistema de controle elétrico apropriado para cada caso.

O comando de acionamento do sistema de iluminação artificial corresponde às formas de acionamento das lâmpadas existentes, através de equipamento que ligam e desligam, chamados de sistemas de controle elétrico.

Os comandos da iluminação artificial, também conhecidos como sistemas de controle elétrico, podem ter duas formas de acionamento: manual e automático.

O acionamento manual é realizado pelo usuário, que tem a responsabilidade de ligar ou desligar o sistema. O acionamento automático é acionado por meio de uma programação, podendo ser ligado ou desligado de acordo com o nível de iluminação proveniente da luz natural e/ou devido a presença ou ausência de usuários no ambiente.

Os equipamentos usados para o controle elétrico são: interruptores manuais, fotossensores e sensores de ocupação (SOUZA, 2003).

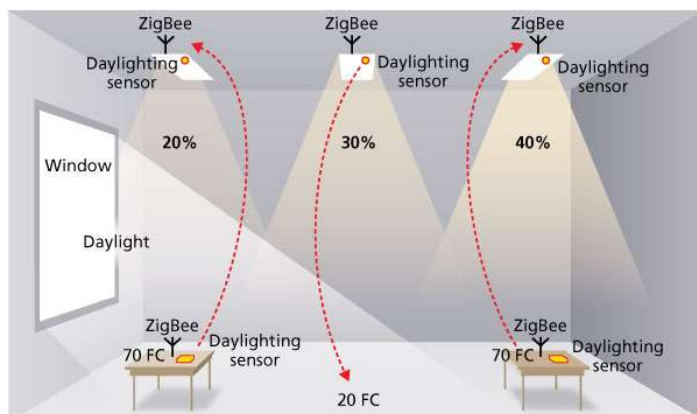
Os interruptores manuais podem ser usados para fazer a integração com a luz natural, constituindo uma maneira simples e barata. Porém para que isto ocorra de forma adequada é necessário que os circuitos sejam independentes e as luminárias estejam dispostas no sentido paralelo às aberturas, de modo que os circuitos possam ser ligados ou desligados

de acordo com uma maior ou menor proximidade da abertura que propiciará níveis diferentes de iluminação.

Apesar de existir a possibilidade de economizar energia com o acionamento manual, este fato depende de um usuário consciente das questões energéticas. Vários estudos de campo têm demonstrado que este não é um fato comum pois o ato de acionar o interruptor ocorre praticamente em duas situações: no início do período do expediente e a outra no término do mesmo. As pessoas costumam ligar a iluminação artificial quando entram no ambiente, mas não costumam desligá-la durante o expediente, mesmo que haja luz natural suficiente no ambiente (CIBSE¹⁶, 1994 apud SOUZA,2003; HUNT¹⁷, 1979 apud SOUZA, 2003).

O controle automático por meio do acionamento fotoelétrico corresponde a fotosensores que identificam a quantidade de luz natural em determinados pontos do ambiente e ajustam o fluxo luminoso das lâmpadas ou o seu desligamento para atingir um nível pré-determinado de iluminância no ambiente. Para que isto ocorra é necessário que os reatores e lâmpadas sejam dimerizáveis (Figura 2) (PINTO, 2008).

Figura 2: Imagem da integração da luz natural com a artificial



Fonte: GHOSHAL, 2013

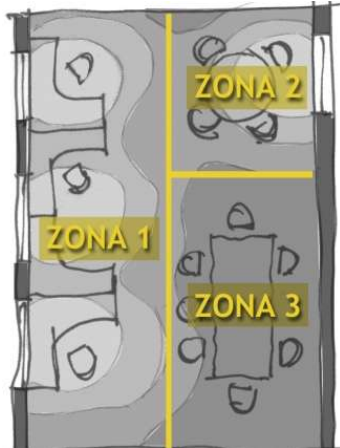
Os sensores de presença usam detectores de movimento com ondas ultrassônicas ou radiação infravermelha para identificar a presença ou ausência de pessoas no ambiente, evitando que os ambientes vazios permaneçam com a iluminação ligada. Os temporizadores e minuterias desligam o sistema de iluminação após um tempo preestabelecido, podendo ser acionados pelos usuários através de interruptores ou controle

¹⁶ CIBSE. Code for interior lighting. The chartered Institution of Building Services Engineers. London, Great Britain: Multiplex Techniques Ltd, St Mary Cray, Kent, 1994. 286p.

¹⁷ HUNT, D. R. G. The use of artificial lighting in relation to daylight levels and occupancy. Building and Environment. v. 14, p. 21-33, 1979.

automático (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 3: Zonas de iluminação com características semelhantes



Fonte: Pereira e Mueller, 2007

Para a determinação da estratégia de controle do sistema de iluminação artificial, o ambiente deve ser dividido em zonas de iluminação, que pode ser feita de acordo com as características semelhantes de distribuição da luz ou outro critério, como por exemplo setorização funcional, layout dos ambientes e disposição do mobiliário (Figura 3) (PEREIRA; MUELLER, 2007).

Após fazer esta divisão do ambiente deve-se distribuir as luminárias, separando-as por circuitos independentes dependendo da zona de iluminação na qual estas se encontram.

Várias pesquisas realizadas propõem metodologias para estimar o potencial de economia de energia devido ao uso da luz natural.

Souza (2003) propõe uma metodologia para estimar o potencial de economia de energia da luz natural devido a utilização de sistemas automáticos de controles. Ele utiliza o PALN (percentual de aproveitamento da luz natural) para estimar a quantidade de energia economizada com o aproveitamento da luz natural, que pode ser por substituição ou complementação da iluminação elétrica. Para ambientes com janelas únicas o maior potencial de aproveitamento da luz natural (PALN) obtido nos modelos avaliados foi de 68%, para a iluminância do ambiente de 300lux. Ambientes com janelas opostas atingiram um potencial de aproveitamento da luz natural (PALN) máximo de 87%.

Didoné (2009) verificou a eficiência energética de edificações não residenciais através da simulação computacional integrada com o uso dos softwares Daysim e EnergyPlus. Nos modelos avaliados pela pesquisadora chegou-se a uma redução de 20% a 62% no consumo de energia com iluminação artificial devido ao aproveitamento da luz natural.

Rocha (2012) verificou que através da aplicação do conceito de zoneamento da iluminação natural foi possível reduzir em até 55% o sistema de iluminação artificial devido ao sistema dimerizável que considera a luz natural disponível no ambiente.

Portanto é possível afirmar que o uso da luz natural pode proporcionar economia de energia significativa nas edificações, especialmente quando consideramos uma integração efetiva entre luz natural e a artificial.

Capítulo 2

2 MÉTRICAS E MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Na última década ocorreram diversos avanços nas pesquisas relacionadas à iluminação natural, que resultou no desenvolvimento de métricas para analisar o desempenho das edificações neste quesito.

Segundo Reinhart (2014, p. 29, tradução nossa) métrica é um “Sistema de medidas relacionadas que facilita a quantificação de alguma característica particular”.

Mardaljevic, Heschong e Lee (2009, p.262, tradução nossa) definem métrica como “uma combinação matemática de medidas e/ ou dimensões e/ ou condições (potencialmente díspares) representadas numa escala contínua.

Métricas da iluminação natural tem como objetivo avaliar o desempenho das edificações por meio de medidas relacionadas, com o objetivo de informar aspectos quantitativos, qualitativos da iluminação e eficiência energética das edificações.

Entre estes avanços das pesquisas nos últimos anos podemos citar o surgimento da métricas dinâmicas, também conhecidas como métricas dinâmicas da iluminação natural baseadas no clima (*CBDM-Climate-Based Daylight Metrics*). Estas métricas vêm substituindo aquelas conhecidas como estáticas, que concentram a avaliação considerando apenas um tipo de céu (Reinhart, Mardaljevic, Rogers, 2006; Mardaljevic, Heschong, Lee 2009).

A iluminação natural é dinâmica ao longo das horas do dia e épocas do ano, mudando constantemente a intensidade e padrão de distribuição da luz, no interior das edificações em função da interação das fontes de luz -o Sol e o céu- com a geometria e propriedades físicas das superfícies internas e externas.

A nova abordagem das métricas dinâmicas proporciona uma análise mais completa do desempenho da iluminação natural ao longo do ano, pois leva em consideração uma gama completa de condições de sol e de céu que ocorrem em uma determinada localidade., considerando os eventos meteorológicos irregulares. Para simular as métricas dinâmicas é necessário utilizar dados climáticos do local, que possui séries temporais de luminâncias e iluminâncias ao longo de todo o ano.

Os resultados das simulações podem ser baseados nas duas grandezas que descrevem a iluminação dos ambientes: iluminância e luminância.

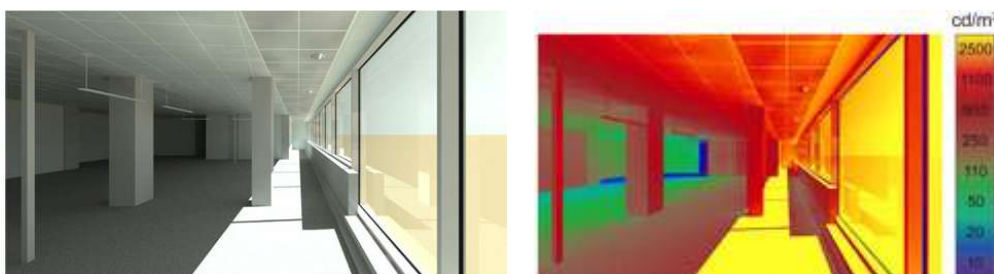
Geralmente os valores de iluminância são usados para descrever a quantidade de luz distribuída ao longo do espaço, ao passo que os resultados baseados em luminância

informam os aspectos qualitativos, como os efeitos visuais resultante do brilho das superfícies e o conforto visual, através da verificação das questões de ofuscamento.

Alguns tipos de avaliações de desempenho da iluminação utilizam métodos muito simplificados, que predizem as condições para um determinado momento (método *single-point-in-time*), não levando em consideração as mudanças ao longo do tempo dos níveis de iluminação natural (MARDALJEVIC; HESCHONG; LEE, 2009).

Os métodos *single-point-in-time* baseados em valores de iluminância são apresentados como valores calculados em uma grade no plano de trabalho. Aqueles baseados em luminância apresentam resultados como renderizações e imagens com cores falsas (Figura 4), que junto ao aspecto visual disponibilizam também resultados numéricos (PETERSON, 2015).

Figura 4: Renderização de um espaço de trabalho e a representação desta vista em cores falsas



Fonte: Daylighting Pattern Guide < <http://patternguide.advancedbuildings.net/>>

Entre os exemplos de métricas estáticas podemos citar o *Daylight Factor* (DF) ou Fator de luz do dia (FLD), que é uma das formas de avaliação mais antigas da iluminação natural.

A métrica *Daylight Factor* (DF) é definida como a razão da iluminância em um ponto interno no edifício e a iluminância em um ponto externo desobstruído, sob a condição de céu encoberto (MOON; SPENCER, 1942).

Esta métrica pode ter os seus valores expressos em porcentagem, demonstrando a quantidade de luz interna disponível no ambiente em comparação à luz disponível no exterior.

O principal motivo deste conceito ser expresso através da razão da iluminância interna e externa, em vez de um valor absoluto é para evitar a dificuldade de lidar com as frequentes flutuações de intensidade da luz natural (WALDRAM, 1950).

As limitações do uso do *Daylight Factor* (DF) vêm sendo apontada por diversos

pesquisadores. Esta métrica é insensível à época do ano, hora do dia, entrada da radiação solar direta, orientação da fachada e localização do edifício. Os resultados indicam apenas condições de iluminação difusa, não considerando o acesso da radiação solar direta no interior das edificações (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006; MARDALJEVIC, HESCHONG, LEE, 2009).

Uma das críticas do uso do *Daylight Factor* (DF) é que o uso desta métrica pressupõe uma avaliação para o céu encoberto, levando a um conceito de “quanto maior o DF, melhor”. Esta situação levada ao extremo tem resultado em edifícios comerciais projetados com as fachadas com grandes panos de vidro, apresentando problemas com o conforto e eficiência energética da edificação (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

Os cálculos de iluminação natural realizados com o *Daylight Factor* (DF) não incluem o uso de elementos de sombreamento, pois eles não são necessários para a condição de céu encoberto. Porém sob condições de céu real estes elementos são incorporados nos edifícios para ajustar as condições de conforto dos usuários. A influência destes elementos de sombreamento, acabam não sendo considerados no cálculo de desempenho da iluminação natural, para estes casos, pois a métrica DF não permite este ajuste fino.

Devido às limitações próprias das métricas estáticas, as pesquisas mais recentes em iluminação natural passaram a centralizar os seus esforços em métricas baseadas no clima (CBDM), que permitem a predição quantitativa da luz (luminância e /ou iluminância) usando condições realísticas do Sol e do céu, acessados através dos arquivos climáticos das localidades.

Entre estas métricas podemos citar aquelas baseadas em valores de iluminância: Daylight Autonomy (DA), Useful Daylight Illuminance (UDI), Continuous Daylight Autonomy (cDA), Maximum Daylight Autonomy (mDA), Daylight Availability, Temporal Map, Spatial Daylight Autonomy (sDA), Annual Sunlight Exposure (ASE), Annual Light Exposure (ALE) (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006; REINHART, 2011b).

Um projeto bem-sucedido em termos de iluminação natural deve ter os objetivos a serem alcançados claramente definidos. Estes objetivos devem considerar questões quantitativas, que consideram níveis de iluminância a serem atingidos, relacionados aos aspectos energéticos da edificação. As questões qualitativas, também de igual importância, complementam as informações quantitativas, abordando questões como controle da radiação solar direta e distribuição da luz no espaço, que devem ser consideradas no quesito conforto visual.

2.1 Métricas para a avaliação da iluminação natural

IESNA (2011) aponta os seguintes objetivos como fundamentais para o sucesso da iluminação natural nas edificações:

- Prover níveis úteis de iluminância que respondam às necessidades dos ocupantes.
- Usar a luz natural visando a diminuição do consumo da iluminação artificial.
- Proporcionar um balanço aceitável de luminâncias no espaço com iluminação natural, visando o conforto visual.

As métricas da iluminação natural ajudam na avaliação das questões abordadas acima. Segue abaixo uma descrição das métricas dinâmicas baseadas em valores de iluminância:

Daylight Autonomy (DA): esta métrica foi introduzida por uma norma Suíça em 1989 e redefinida por Reinhart e Walkenhost (2001, tradução nossa), como “porcentagem de horas ocupadas em um ano quando um limite mínimo de iluminância requerida é alcançada exclusivamente pela luz natural” (Figura 5).

Daylight Autonomy (DA) foi a primeira métrica dinâmica a ser elaborada. Através desta métrica é possível verificar o desempenho individual de pontos analisados no espaço, assim como a distribuição geral da luz no espaço (IESNA, 2011).

Portanto se a iluminância requerida para um determinado ambiente é 300lux, esta métrica informará a porcentagem do tempo das horas ocupadas em que os pontos do ambiente atingem valores maiores ou iguais a 300lux (iluminância alvo).

Em publicações posteriores esta métrica foi redefinida, combinando-a com dispositivos de controle de sombreamento manual, resultando no conceito “*effective daylight autonomy*” (Reinhart, 2002; Reinhart; Andersen, 2006).

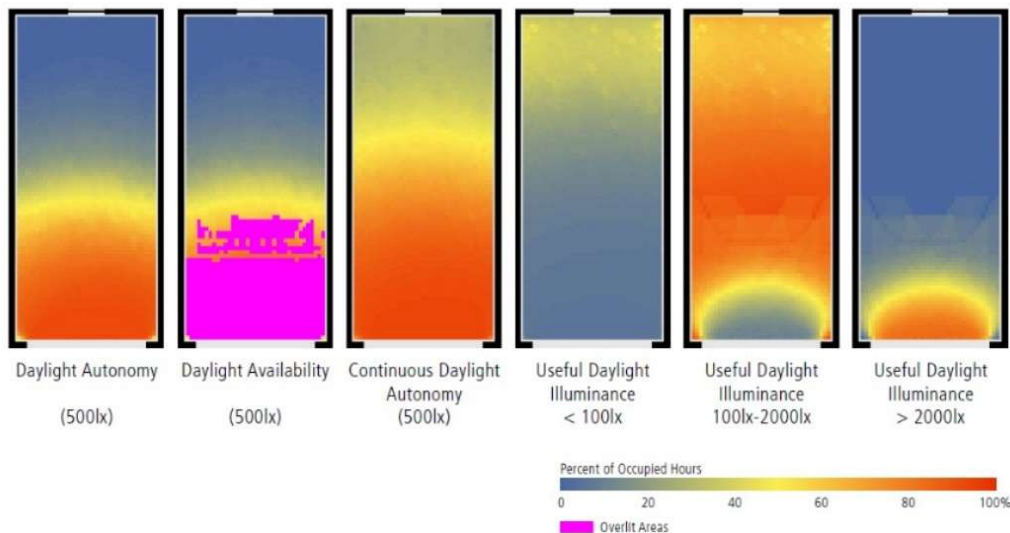
Uma das críticas em relação a esta métrica é que ela não prevê um limite máximo de iluminância que o ambiente pode alcançar. Portanto, em algumas áreas do ambiente, os quais ocorrem níveis muito elevados de iluminância, com probabilidade de ocorrer ofuscamento, não são detectadas como pontos problemáticos através da métrica *Daylight Autonomy (DA)*.

Continuous Daylight Autonomy (cDA): esta métrica foi proposta por Rogers (2006), sendo uma variante da métrica *Daylight Autonomy (DA)*. Neste conceito os valores abaixo do nível requerido para o ambiente são computados como créditos parciais. Por este motivo é uma métrica útil para mostrar o potencial de economia de energia, caso o sistema de iluminação artificial seja dimerizável (Figura 5).

Useful Daylight Illuminance (UDI): esta métrica foi proposta por Nabil e Mardaljevic (2005). Ao contrário da métrica *Daylight Autonomy* que considera um nível de iluminância alvo para a análise, esta métrica propõe um intervalo de valores de iluminância considerados úteis aos usuários do edifício. Apresenta a frequência ao longo do ano em que a luz natural alcança a escala de valores determinada.

Na primeira versão da UDI os níveis considerados úteis variavam de 100lux a 2000lux (Figura 5). Os valores <100lux são considerados muito baixos para a realização das tarefas de trabalho, e os valores >2000lux são considerados muito elevados, podendo levar ao desconforto visual/ e ou térmico, portanto não são considerados úteis (Mardaljevic; Nabil,2005). Posteriormente esta escala de valores úteis foi redefinida para o intervalo de 100lux a 3000lux. Nesta nova proposta os valores úteis foram divididos em duas escalas menores. A primeira escala varia entre 100 a 300lux, chamada de UDI suplementar, pois é necessário complementar os valores de iluminância com o sistema de iluminação artificial. A segunda escala varia de 300 a 3000lux, chamada de UDI autônoma, na qual os valores provavelmente não necessitarão de complementação (MARDALJEVIC, 2015; MARDALJEVIC; ANDERSEN, 2012)

Figura 5: Métricas da iluminação natural: DA, Daylight Availability, cDA, UDI



Fonte: Reinhart, Jakubiec, 2012

Maximum Daylight Autonomy (DAm_{ax}): esta métrica foi elaborada por Rogers (2006). O objetivo é verificar a possibilidade de ofuscamento, baseando-se em valores de iluminância, que indicam a porcentagem das horas ocupadas em que a radiação direta ou

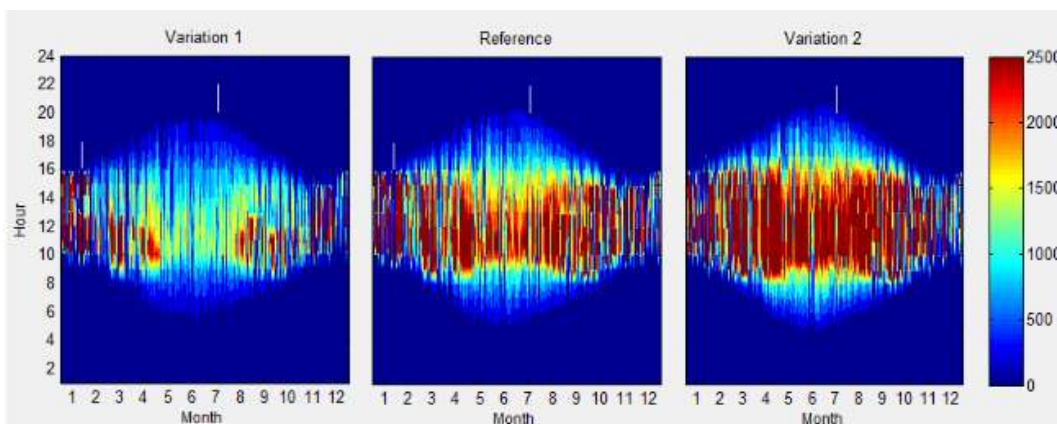
níveis excessivos de iluminância são presentes no ambiente. D_{Max} foi definido como sendo o valor dez vezes maior do que o nível de iluminância requerido (valor-alvo) para o ambiente. Portanto se a iluminância requerida for 300lux, o valor estabelecido para o D_{Max} será 3000lux.

O ponto fraco desta métrica é que ela é baseada mais na intuição do que em pesquisa documentada (REINHART, MARDALJEVIC, ROGERS, 2006).

Temporal Map: esta métrica apresentada em formato de gráfico foi proposta por Mardaljevic (MARDALJEVIC, 2004). O gráfico é apresentado em cores falsas que representam valores de iluminância ao longo do ano, para um ponto de análise no ambiente ou um valor médio para todo o espaço (REINHART, 2011). A métrica *Temporal map* apresenta no eixo x (abscissa), os dias do ano e no eixo y (ordenada), as horas do dia.

A Figura 6 apresenta o *temporal map* para três situações diferentes de projeto. A cor vermelha na escala de iluminância representa valores acima de 2000lux. Assim é possível verifica nas três imagens sequenciais a última variação (variation 2) é a que possui uma quantidade maior de tempo de ocupação com níveis acima de 2000lux, sugerindo uma maior atenção em relação à probabilidade de ocorrer ofuscamento no projeto, durante o período que aparecem estes valores.

Figura 6: Temporal map para três situações de projeto.



Fonte: <http://www.idbuild.dk>

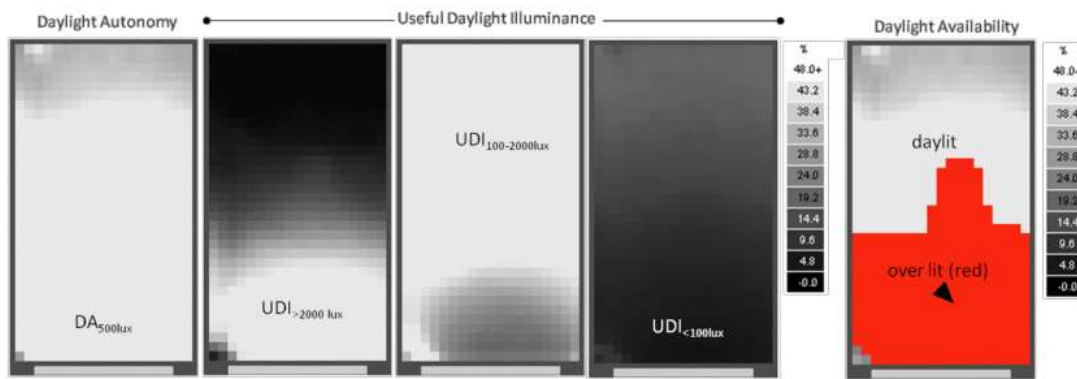
As métricas DA e UDI apontam o percentual de horas de trabalho que a iluminância atinge um valor requerido para o ambiente (valor-alvo). Porém estas métricas não apontam o período do dia e época do ano em que o valor requerido para o ambiente é alcançado ou

não (ANDERSEN et al, 2008; KLEINDIENST, S; BODART, M.; ANDERSEN, 2008). O *temporal map* deve ser usado em combinação com outras métricas, como DA e/ou UDI, para uma avaliação mais completa, pois através dele é possível verificar o período mais crítico, possibilitando ajustes nos parâmetros de projeto, de acordo com esta informação.

A capacidade de visualizar em uma única imagem a variação do desempenho anual de uma edificação através do *temporal map* facilita o processo de projeto, sendo possível modificar o mesmo de acordo com as tendências sazonais ou diárias, sem depender de renderizações que representem momentos arbitrários ao longo do ano para uma melhor compreensão do projeto.

Daylight Availability: Esta métrica foi proposta por Reinhart e Wienhold (2011) com o objetivo de apresentar em uma única imagem o resultado de duas métricas diferentes DA (*Daylight Autonomy*) e UDI (Useful Daylight Illuminance) em seu limite superior, que sugere a área do ambiente com probabilidade de ocorrer ofuscamento. O nível de iluminação máximo utilizado para estabelecer a área com probabilidade de ofuscamento segue a proposição de Rogers (2006). Ele considera que um nível de iluminância com o valor 10 vezes acima à iluminância alvo requerida para o ambiente tem grande chance de causar ofuscamento. A imagem formada apresenta a área com probabilidade de ofuscamento (*overlit*), a área que possui níveis de iluminância úteis (*daylit*) (Figura 7).

Figura 7: Simulações de um ambiente de escritório com as métricas Daylight Autonomy, Useful Daylight Illuminance e Daylight Availability.



Fonte: Reinhart; Wienold (2010)

Annual Light Exposure (ALE): esta métrica é usada para avaliar espaços de arte que possuem obras sensíveis à luz. *Annual light exposure* é definido como quantidade acumulada de luz visível incidente em um ponto de interesse ao longo do ano (lux

hora/ano). Recomendada pela *International Commission on Illumination* (CIE) Division e TC3-22 para verificar o risco de deterioração das obras de arte sensíveis à luz (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

Spatial Daylight Autonomy (sDA): Esta métrica foi adotada em conjunto com a métrica *Annual Solar Exposure* (ASE) em 2012, pela *Illuminating Engineering Society* no protocolo LM-83-12. Posteriormente foi adotado pela versão LEED v4 (Reinhart, 2015; NEZAMDOOST, A.; VAN DEN WYMELENBERG, 2016)

É definida como a porcentagem de uma área analisada que alcança um nível mínimo de iluminação, para uma fração de horas de ocupação ao longo do ano (IES Daylight Metrics Committee, 2012). O nível de iluminação definido é 300lux e a fração do tempo em que este valor deve suprir este valor é 50% do período de ocupação. Estes valores são subscritos na métrica (sDA_{300,50%}). O valor do resultado é expresso em porcentagem de área. O critério definido para verificar o desempenho do espaço pode ser enquadrado em duas categorias, que variam de acordo com a qualidade da aceitabilidade do desempenho pelo usuário: “preferido ou nominalmente aceitável”. O espaço é considerado preferido pelos usuários quando a métrica sDA_{300,50%} excede 75% da área analisada e nominalmente aceitável quando excede 55% da área. Deve-se seguir os procedimentos de cálculo da métrica, de acordo com o protocolo estipulado pela IESNA LM-83-12 que descreve como o cálculo deve ser realizado considerando questões como: dispositivos de sombreamento interno, obstruções externas, mobiliário, entre outros. A métrica sDA considera como padrão para o seu cálculo um sistema de sombreamento que deve ser fechado sempre que mais que 2% da área de avaliação tiver a incidência da radiação solar direta (IES Daylight Metrics Committee, 2012).

Os valores definidos para o critério de desempenho desta métrica foram os que tiveram uma melhor correlação com as expectativas dos usuários, resultado de uma pesquisa realizada em 61 espaços de trabalho, incluindo diversas tipologias (salas de aula, escritórios e biblioteca). A pesquisa disponibilizada através de um relatório conhecido como “CEC PIER *Daylight Metrics Research Project*” foi financiada pela comissão de energia da Califórnia (HESCHONG MAHONE GROUP, 2012).

Annual Solar Exposure (ASE): Esta métrica tem o objetivo de avaliar o potencial de desconforto visual devido à incidência da radiação solar direta. Ela é definida como uma área analisada que excede um nível de iluminância determinado (1000lux), proveniente exclusivamente da radiação solar direta, por mais de 250h ao ano, considerando o horário de ocupação das 8h às 18h. Estes valores aparecem subscritos na métrica da seguinte forma: ASE_{100,250h}. Assim como na métrica sDA o critério definido para verificar o

desempenho do espaço pode ser enquadrado em duas categorias, “preferido ou nominalmente aceitável”. De acordo com a pesquisa realizada, o espaço foi considerado preferido pelos usuários quando $ASE_{1000,250h} < 3\%$ da área analisada e nominalmente aceitável quando $ASE_{1000,250h} < 7\%$ da área analisada (IES DAYLIGHT METRICS COMMITTEE, 2012). No protocolo da IESNA LM83-12 há uma nota esclarecendo que a pesquisa realizada não inclui várias orientações e zonas climáticas diferenciadas, variáveis necessárias para verificar diversos padrões de penetração solar. Por este motivo serão necessárias outras pesquisas, para melhor entendimento da escala de tolerância da penetração solar em espaços de trabalho. Esta nota sugere que estes valores definidos como critério de desempenho sejam melhor investigados.

Outros avanços das pesquisas de iluminação natural dos últimos anos referem-se a um maior refinamento das métricas de predição de ofuscamento (WIENOLD; CHRISTOFFERSEN, 2006).

O ofuscamento é uma sensação visual causada por uma inadequada distribuição de luminâncias no campo da visão, podendo ser considerado desabilitador, que impossibilita a pessoa de enxergar certos objetos ou desconfortável, por causar cansaço visual devido ao brilho excessivo.

A avaliação de ofuscamento é baseada na distribuição de luminância no campo de visão do observador. Os índices de ofuscamento são avaliações numéricas baseados em de imagens de grande alcance dinâmico ou *High Dynamic Range* (HDR). Elas permitem a análise da distribuição de luminância, que utilizam fórmulas matemáticas derivadas de estudos subjetivos realizados com pessoas (REINHART, WIENOLD, 2011Wienold).

Podemos citar várias métricas que avaliam o ofuscamento: Daylight Glare Index, CIE Glare Index, Visual Comfort Probability, Unified Glare Rating e Daylight Glare Probability (JAKUBIEC; REINHART, 2012).

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

Daylight Glare Probability (DGP): esta métrica proposta por Wienold e Christoffersen (2006) foi derivada de testes de laboratório em espaços com iluminação natural, realizados com 72 pessoas, na Dinamarca e Alemanha. Segundo os autores, a métrica DGP apresentou uma correlação mais satisfatória, de acordo com a experiência que os usuários relatavam durante o experimento.

A Figura 8 apresenta na imagem à esquerda um espaço de escritório com um DGP de 22%,

classificado como ofuscamento imperceptível, simulado sob condição de céu encoberto. A imagem da direita apresenta um DGP de 41%, classificado como ofuscamento perturbador, que sugere que o plano de trabalho está em uma condição inaceitável em relação ao conforto visual. Esta simulação foi realizada sob condição de céu claro, na qual há radiação solar direta incidente no plano de trabalho. Estas imagens são avaliações estáticas do ofuscamento no campo visual, obtidas pelo *Point-in-time Glare* que é a simulação realizada para um ponto de vista especificado por uma câmera, em um determinado dia, horário e época do ano. O cálculo do *Daylight Glare Probability* (DGP) considera o brilho geral no campo visual e os contrastes presentes na imagem simulada.

Figura 8: Visualizações de um escritório com a avaliação da métrica DGP



Fonte: Reinhart e Wienold, 2011.

As simulações de ofuscamento que disponibilizam a visão do ambiente, para uma determinada condição específica de dia, hora e condição de céu podem ser comparadas com outras metodologias de análise do ofuscamento como fotografias HDR (*High Dynamic Range*) e medições com luminômetro (FERNANDES, 2016).

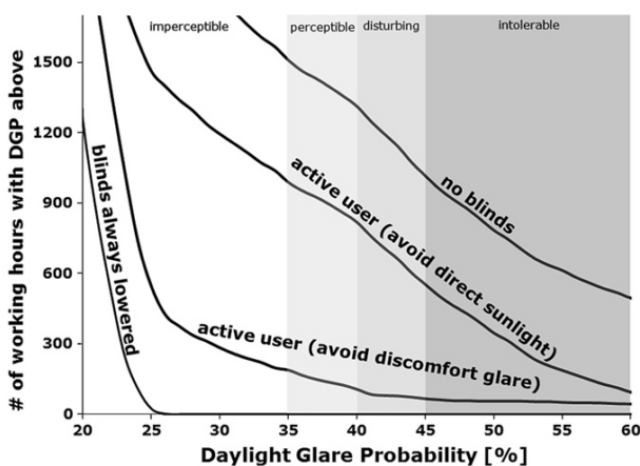
Nos últimos anos houve uma evolução dos modelos de simulação da iluminação natural que mimetizam o comportamento dos usuários das edificações em relação aos ajustes dos dispositivos de proteção internos e dos controles de iluminação artificial.

É possível fazer uma avaliação das condições de iluminação natural considerando o acionamento dos dispositivos de sombreamento internos (persianas, telas solares) ao longo do ano e verificar a influência destes dispositivos no conforto visual, utilizando a métrica DGP. Para tal é necessário escolher os cenários de acionamento dos dispositivos de sombreamento, como por exemplo, sempre aberto (situação 1), acionamento manual

(situação 2). Para prever o acionamento dos dispositivos de sombreamento (abertura e fechamento), os softwares de simulação possuem algoritmos que mimetizam o comportamento dos usuários, como o *Lightswitch* (REINHART; WIENOLD, 2011).

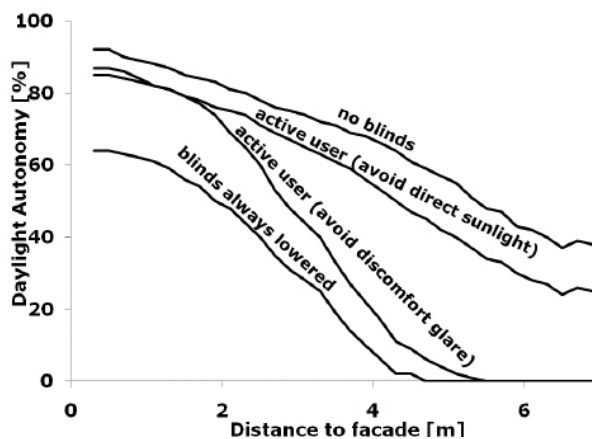
A Figura 9 apresenta a avaliação do *Daylight Glare Probability* (DGP) para um determinado ponto do ambiente. É possível verificar através deste gráfico que a probabilidade de ofuscamento diminui, de acordo com a estratégia de controle do dispositivo de proteção solar interno.

Figura 9: Perfil anual do DGP para um ponto considerando diversas estratégias de acionamento do dispositivo de sombreamento interno



Fonte: Reinhart e Wienold, 2011

Figura 10: Distribuição da Luz em relação à distância da fachada, considerando diversas estratégias de controle do sombreamento



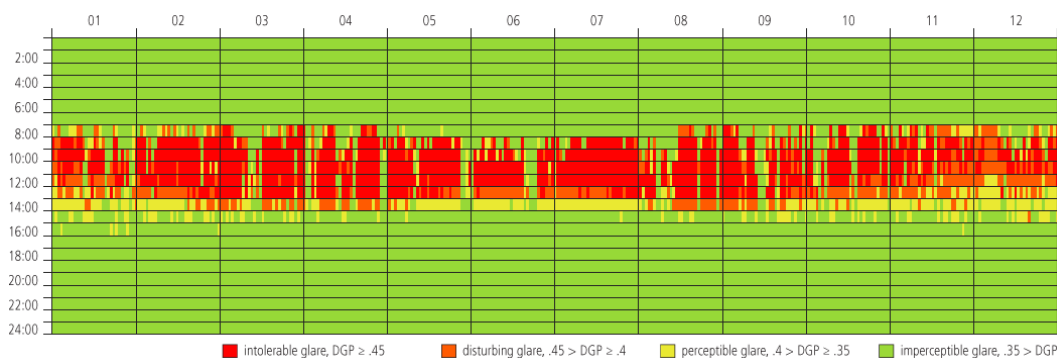
Fonte: Reinhart e Wienold, 2011.

A Figura 10 mostra a distribuição da iluminação em relação à distância da fachada, medida com a métrica *Daylight Autonomy* (DA), e a influência da estratégia de controle do dispositivo de controle solar nesta distribuição da luz.

As estratégias de controle dos dispositivos de proteção solar internos afetam o conforto visual e a disponibilidade de luz interna. Por este motivo estes dois quesitos devem ser analisados conjuntamente, para se chegar a um equilíbrio de projeto considerando a disponibilidade de luz natural e conforto visual.

É possível verificar o potencial de risco de ofuscamento ao longo do ano para uma vista do ambiente, através da simulação *Annual glare*. Este índice de avaliação dinâmica da luz analisa as luminâncias em cada ponto do campo visual para as 8.760 horas do ano, possibilitando a avaliação da probabilidade de ocorrer ofuscamento. A avaliação é feita em função do índice DGP (*Daylight Glare Probability*). A Figura 11 apresenta o gráfico resultante da simulação, no qual aparece no eixo x (abscissa) os meses do ano e no eixo y (ordenada) as horas do dia. A legenda do gráfico aparece as cores vermelho, laranja, amarelo e verde que respectivamente indicam a escala de análise do ofuscamento que vai da pior situação (ofuscamento intolerável- $DGP \geq 0,45$), até a melhor situação (ofuscamento imperceptível $0,35 > DGP$).

Figura 11: Resultado da simulação Annual Glare



Fonte: Simulação realizada no software DIVA pela autora da tese

O desempenho luminoso de um ambiente pode ser descrito por mais de uma métrica. Não existe uma única métrica que responda a todas as questões relativas ao desempenho luminoso. Desta forma é importante selecionar as métricas que serão usadas na avaliação da iluminação, de acordo com os objetivos pretendidos no projeto.

2.2 Métodos de avaliação da iluminação natural

O estudo da iluminação natural nos projetos de arquitetura deve ser desenvolvido ainda em fases preliminares de projeto, pois as decisões tomadas nesta fase têm impacto decisivo no desempenho luminoso da edificação. Na fase de concepção do projeto são tomadas decisões relativas à orientação do edifício, definições das aberturas (orientação, localização, dimensionamento), volumetria da edificação que impactam no resultado final da luz natural no interior dos ambientes.

Diversas ferramentas¹⁸ de projeto podem ser utilizadas com o intuito de obter um projeto mais qualificado do ponto de vista da iluminação natural.

As ferramentas utilizadas nas etapas de cálculo e avaliação da iluminação natural podem ser divididas em nas seguintes categorias: ferramentas manuais, modelos físicos em escala reduzida, ferramentas digitais e ferramentas computacionais.

Há diversas ferramentas manuais para o cálculo da iluminação natural, incluindo nesta categoria os métodos matemáticos, método tabular e métodos gráficos (BAKER; STEEMERS, 1998).

“Os Métodos matemáticos são procedimentos de cálculo desenvolvidos através de equações baseadas nas hipóteses físicas, parâmetros geométricos e procedimentos analíticos” (LIMA, CHRISTAKOU, 2007, p.51)

Os métodos gráficos são muito utilizados nas fases iniciais de projeto e entre eles podemos citar: os nomogramas, os transferidores, o diagrama de Waldram, a carta solar, entre outros

Os modelos físicos em escala reduzida permitem a avaliação qualitativa e quantitativa da luz natural pois a luz devido às suas características físicas, com comprimentos de ondas extremamente reduzido (380-780nm), não apresenta distorções devido à diferença de escala (ROBINS, 1986). Portanto é possível fazer avaliações quantitativas e qualitativas utilizando o modelo reduzido.

Uma vantagem dos modelos reduzidos em relação aos métodos gráficos e matemáticos é que eles propiciam análises qualitativas por meio registros visuais da incidência de sol no ambiente e da distribuição da luz no interior do modelo. Porém, como limitações, podemos destacar a necessidade de precisão da geometria e características das superfícies do

¹⁸ Ferramentas de projeto, nesta tese será empregado com a seguinte conotação: método, técnica, procedimento, equipamento que ajuda na avaliação do projeto, na escolha para alcançar um objetivo específico

modelo para a obtenção de dados confiáveis, assim como necessidade de boa instrumentação fotométrica, além de demandar tempo para a sua execução.

Uma ferramenta que vem sendo difundida especialmente no meio acadêmico é a utilização de técnicas digitais por meio de imagens HDR (*High Dynamic Range*), que permitem a análise de medição das luminâncias (INANICI; GALVIN, 2004; SOUZA, SCARAZZATO, 2009).

Esta ferramenta tem sido utilizada por pesquisadores para a avaliação pós ocupação em edificações da iluminação em espaços construídos (FERNANDES, 2016).

Souza e Scarazzato (2009) obtiveram bons resultados de imagens HDR através do uso de câmeras semiprofissionais, contribuindo, através do método empregado, para tornar o estudo de ofuscamento mais acessível a profissionais e estudantes, a partir de uma interpretação visual e gráfica do espaço

As ferramentas computacionais vêm se difundindo nos últimos anos devido ao seu grande potencial de análise dos aspectos quantitativos e qualitativos da utilização da luz natural, integradas aos aspectos energéticos da edificação. Permitem a avaliação de ambientes de geometria complexas e a flexibilidade de se fazer modificações paramétricas do modelo, proporcionando a avaliação de diversas propostas com maior rapidez.

As simulações computacionais possibilitam a análise integrada de diversos aspectos ambientais das edificações (térmico, acústico, luminoso e energético), apoiando, desta forma, a prática do projeto de arquitetura.

Elas permitem a retroalimentação do projeto nos momentos de tomada de decisões, facilitando a avaliação de impacto ambiental ao longo do processo de projeto (CALDAS E NOFORD¹⁹, 2002 apud LIMA E CHRISTAKOU, 2007). Portanto a simulação da luz natural deve ser inserida paralelamente às etapas de definição do partido adotado.

Para fazer o estudo da luz natural através da simulação computacional deve-se primeiramente definir um conjunto de metas de desempenho que o projeto deve alcançar e considerar as variáveis a serem investigadas. A seleção do software adequado para a análise deve ser feita verificando as possibilidades e limitações dos programas computacionais, de acordo com o objetivo pretendido.

Os programas específicos para a simulação da iluminação natural consideram o comportamento físico da luz, através dos algoritmos implementados nestes programas. Há

¹⁹ CALDAS, Luiza G., NORFORD, Leslie K. A design optimization tool based on a genetic algorithm. Em "Automation in Construction", 2002 p. 173-184.

uma diferenciação entre os softwares de *rendering* que disponibilizam imagens realísticas do objeto simulado, mas sem precisão numérica dos resultados e os programas específicos para o cálculo da iluminação, que através dos seus algoritmos representam os fenômenos físicos da luz (LIMA E CHRISTAKOU, 2007).

Há duas abordagens principais em relação aos algoritmos que são fisicamente fundamentados: o método da radiosidade e o método da perseguição do raio conhecido por *ray tracing*. O método da radiosidade considera todas as superfícies difusoras e o *ray tracing* permite o cálculo de superfícies com a transmissão e reflexão especular (CLARO, 1998).

O próximo passo após a seleção do programa de simulação é a elaboração de um modelo geométrico tridimensional (objeto-modelo) que represente o espaço a ser estudado (objeto-concreto). O modelo elaborado possui informações em forma de coordenadas cartesianas, x, y e z, assim como propriedades ópticas do material e fontes de iluminação da cena que representam a realidade (LIMA E CHRISTAKOU, 2007).

Após a elaboração do modelo tridimensional com as informações sobre as propriedades dos materiais deve-se informar ao programa questões referentes aos aspectos climáticos, localização geográfica e dados do entorno.

O Quadro 1 resume os principais dados de entrada, que devem ser considerados para simulações da iluminação natural.

Quadro 1: Dados de entrada de um programa para a simulação da iluminação natural

DADOS DA EDIFICAÇÃO	CONDIÇÃO DE CÉU
<ul style="list-style-type: none"> ● Características geométricas da edificação ● Características ópticas das superfícies dos materiais ● Características do sistema de iluminação artificial ● Características dos dispositivos de sombreamento 	<ul style="list-style-type: none"> ● Data, hora ● Localização geográfica ● Dados da radiação solar ● Distribuição luminosa do céu

Fonte: Adaptado de Reinhart (2006, p. 18). Tradução nossa.

Os programas que fazem simulação dinâmica da luz natural utilizam arquivos climáticos que possuem dados horários da irradiância solar direta e difusa. O departamento de

energia dos USA disponibiliza para o download²⁰ o arquivo climático de várias cidades do mundo. O site do Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE), também disponibiliza para o download²¹ os arquivos climáticos de diversos municípios brasileiros.

Após importar os dados climáticos é necessário especificar os pontos de interesse do edifício, nos quais serão realizadas as análises. Se o objetivo for gerar imagens foto realísticas ou análise de ofuscamento é necessário especificar o ponto de vista do observador, posicionando a câmera sintética. Caso o objetivo seja fazer uma simulação dinâmica é necessário criar um grid com sensores no ponto de interesse do edifício, que pode estar localizado no plano horizontal como, por exemplo, no plano de trabalho para edifícios de escritório, ou no plano vertical, para exemplificar espaços de exposição com quadros nas superfícies verticais (REINHART, 2006).

O próximo passo após a definição das áreas de interesse e a escolha tipo de saída de resultados (*outputs*) desejado é possível iniciar a simulação. Dependendo da complexidade de cena, da precisão dos resultados requeridos e da capacidade do computador utilizado a simulação pode demorar algumas horas para a finalização.

Simulações da iluminação fisicamente fundamentada geralmente disponibilizam resultados que podem ser imagens e/ou dados numéricos, visto que o processo de avaliação de desempenho luminoso demanda uma verificação qualitativa e quantitativa.

Os dados de saída (*output*) são as informações resultantes da simulação que podem ser disponibilizados de diversas maneiras: imagens renderizadas, imagens analíticas com contornos isolux ou coloridas em cores falsas, informações numéricas com valores de iluminância, luminância através de gráficos, tabelas e pontos distribuídos em uma malha, imagens que possibilitam a previsão do conforto visual (CHRISTAKOU, 2004).

A última etapa do processo é a interpretação dos resultados obtidos que pode ser feita comparando os resultados com valores de referência, que indicam o desempenho mínimo a ser atingido ou através de comparação relativa entre as propostas.

Segundo Reinhart, (2014, p.29,31, tradução nossa):

“as métricas de uma determinada solução de projeto podem ser usadas tanto para fazer comparações relativas entre alternativas de soluções de projeto ou como uma comparação absoluta em relação a um valor de referência. Comparações relativas permitem conclusões que possibilitam

²⁰ Disponível em < <https://energyplus.net/weather>>

²¹ Disponível em < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>

verificar se uma variante de projeto cumpre o objetivo do projeto “melhor” do que a outra. ”

As comparações absolutas das métricas devem ser realizadas através de indicadores de referência (*benchmark*). Esta abordagem é utilizada por códigos de legislação e sistemas de certificação. Uma das vantagens de trabalhar com valores de referência (*benchmark*), ao invés do método de comparação relativa entre diversas opções de projeto é que esta abordagem informa ao projetista qual é o desempenho mínimo que deve ser alcançado.

Muitas vezes não há um critério de desempenho adequadamente definido para as métricas, indicando o valor de referência (*benchmark*) a ser seguido. Neste caso as comparações relativas entre alternativas podem ser uma opção para avaliação. Porém deve-se atentar ao fato que a melhor alternativa entre os cenários pode não cumprir o objetivo de desempenho mínimo almejado para o projeto.

Uma vantagem do método de comparação relativa é que ele pode ser usado ainda em fases preliminares do projeto, direcionando a escolha da melhor opção entre os diversos cenários.

Reinhart (2014) sugere que seja utilizada uma abordagem mista, checando os resultados com valores de referência (*benchmark*) e comparando-os com valores de desempenho avaliados em projetos anteriores.

As simulações da iluminação natural proporcionam diversos produtos como resultado (*outputs*), que podem ser utilizadas para a avaliação do desempenho luminoso das edificações. Porém é importante estabelecer uma metodologia de avaliação que pressupõe a escolha das métricas adequadas, de acordo com os objetivos pretendidos, assim como a organização e sintetização dos dados de modo a evidenciar as relações e implicações que os diversos tipos de informação têm entre si. Devido à importância do método de avaliação para se chegar ao objetivo da pesquisa foi realizada uma revisão bibliográfica, com o intuito de entender os procedimentos realizados pelos pesquisadores, para a avaliação do desempenho luminoso dos espaços.

Andersen et al (2008) elaboraram uma plataforma para desenvolvimento do projeto de iluminação chamada de Lightsolve. O principal objetivo desta plataforma é propiciar a análise que facilite uma integração do processo de projeto em relação aos vários aspectos ligados à iluminação natural (variações diárias e sazonais, balanço entre nível de iluminância suficiente e conforto visual, aspectos térmicos) para facilitar a concepção do projeto. A proposta desta plataforma é a de criar um método que integre a análise de desempenho anual quantitativa e qualitativa de uma forma original, com o objetivo de auxiliar o projeto através de metas.

A Figura 12 apresenta a plataforma Lightsolve mostrando a interação da análise. Há uma relação direta entre os dados dos mapas temporais, os efeitos visuais das renderizações internas e as condições de iluminação natural propiciadas pelo tipo de céu e o impacto do entorno.

Figura 12: Interface da plataforma Lightsolve



Fonte: Andersen et al, 2008.

Didoné (2009) avaliou o impacto do uso da iluminação natural na redução do consumo de energia elétrica em edificações não residenciais, através do uso de simulação computacional. O método empregado na pesquisa usou a simulação computacional como ferramenta integrando os softwares Daysim e EnergyPlus. O Daysim foi utilizado para os cálculos da iluminação natural e os resultados destas simulações foram inseridas no EnergyPlus para a verificação do desempenho termo-energético dos modelos analisados.

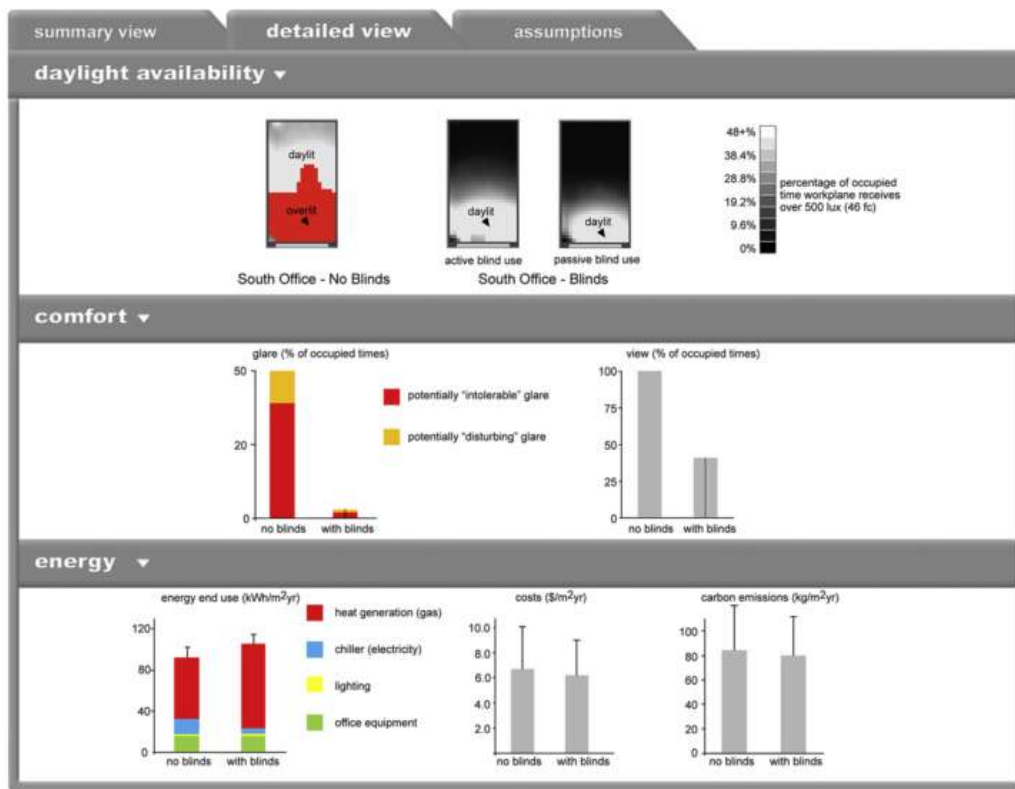
Fernandes et al (2010) utilizaram um método que considera três etapas para a avaliação da luz natural e eficiência energética de uma edificação, localizada na cidade de Brasília. A primeira etapa do método de avaliação consistiu na utilização do "Diagrama Morfológico²²", que é um instrumento de síntese de parâmetros fundamentais para o projeto arquitetônico relacionados à luz natural com ênfase no conforto ambiental e eficiência energética. A

²² Diagrama morfológico foi proposto por Amorim (2007)

segunda etapa consistiu em medições in loco e análise sensorial dos ambientes analisados. Ainda nesta etapa foram realizadas simulações computacionais para avaliar os níveis de iluminância e probabilidade de ofuscamento para as soluções propostas de projeto. A última etapa do método consistiu na avaliação da eficiência energética da envoltória segundo método prescritivo no Regulamento Técnico de Qualidade do nível de Eficiência Energética de Edifícios.

Reinhart e Wienold (2011) propuseram o conceito do *Daylighting Dashboard* que é uma forma de apresentar os resultados das simulações, com o objetivo de informar pessoas que não são especialistas na área sobre o desempenho luminoso dos cenários a serem analisados. O painel dos resultados, *Daylighting Dashboard*, visa apresentar o desempenho da iluminação natural de uma forma sintética e visual, com informações das seguintes categorias: disponibilidade de luz natural, conforto visual e energia (Figura 13). Esta proposta de apresentação e análise sugere um método de avaliação que direciona os procedimentos a serem realizados para se chegar aos resultados almejados.

Figura 13: Daylighting Dashboard (comparação entre cenários de iluminação)

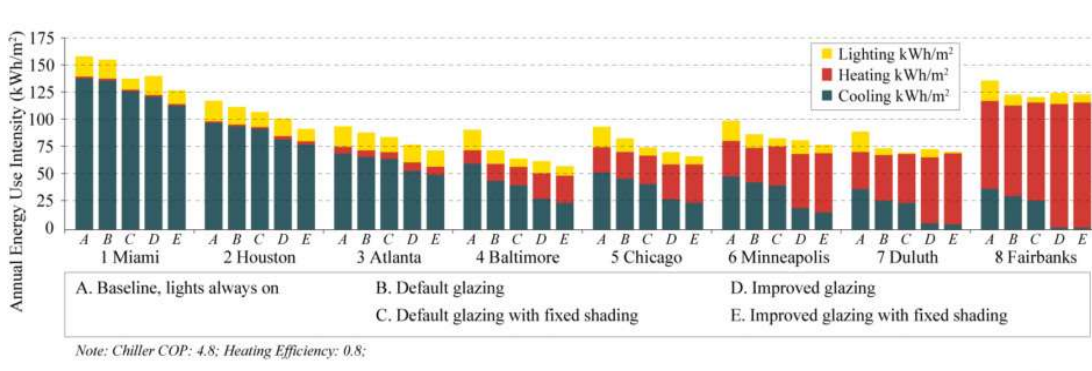


Fonte: Reinhart e Wienold, 2011.

Bakshi e Jakubiec (2011) fizeram uma pesquisa para investigar os benefícios econômicos da iluminação natural em diversas zonas climáticas dos USA.

Os cenários variaram em relação ao tipo de vidro empregado e a ausência ou presença de proteção solar externa. Os resultados foram tabulados para cada zona climática, de acordo com o consumo de energia, apresentado em kWh/m². Este consumo foi desagregado por usos finais: sistemas de iluminação artificial (considerando a disponibilidade da luz natural), sistema de aquecimento e de resfriamento (Figura14).

Figura14: Consumo anual de uso de energia por zona climática e melhorias no projeto de iluminação natural (kWh / m2)



Fonte: Bakshi e Jakubiec (2011)

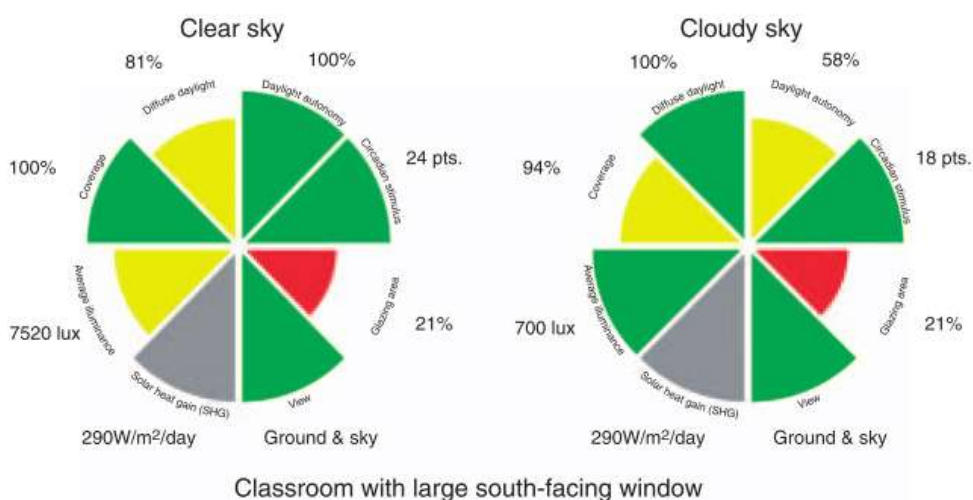
Segundo Bakshi e Jakubiec (2011) a iluminação natural tem um grande potencial para reduzir a demanda energética da edificação, porém este tipo de estudo não é muito requisitado na prática profissional. Isto ocorre porque os clientes não entendem os benefícios financeiros do projeto de iluminação natural. Os pesquisadores acreditam que se os resultados fossem demonstrados considerando a redução de energia elétrica da edificação, consultorias sobre iluminação natural poderão se tornar mais difundidas no mercado.

A IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) criou um comitê com especialistas de iluminação natural para definir métricas para a avaliação de edifícios iluminados naturalmente. Este trabalho resultou na elaboração do documento IES LM-83-12 - *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. Este documento propõe como método de avaliação o uso de duas novas métricas, que devem ser usadas conjuntamente. A sDA (*Spatial Daylight Autonomy*) mede a suficiência da iluminação natural e a ASE (*Annual Sunlight Exposure*), que verifica o risco potencial de penetração da radiação solar excessiva que pode causar ofuscamento (IES

Daylight Metrics Committee, 2012).

Leslie et al (2012) propõe uma representação visual do potencial do projeto para atender oito metas dos aspectos da iluminação natural estabelecidas pela pesquisa: iluminância média, distribuição de luz pelo ambiente, luz natural difusa, estímulo circadiano, área de vidros, vista, ganho de calor (Figura 15). Esta nova métrica, chamada de “*Daylighting Dashboard*”, tem como objetivo indicar o desempenho luminoso em uma fase inicial do projeto, período no qual há maiores oportunidades de se fazer as modificações necessárias.

Figura 15: Daylighting Dashboard com a avaliação de um ambiente para duas condições de céu



Fonte: Leslie et al, 2012.

A representação gráfica proposta utiliza as cores verde, amarelo e vermelho, que indicam respectivamente, atendimento do objetivo, atenção e não atendimento. A cor cinza não possui nenhuma qualificação. Ela representa o item de análise relacionado ao ganho de calor do ambiente, que pode ser desejável ou não. Por este motivo o ganho de calor deve ser analisado caso a caso, de acordo com os objetivos do projeto.

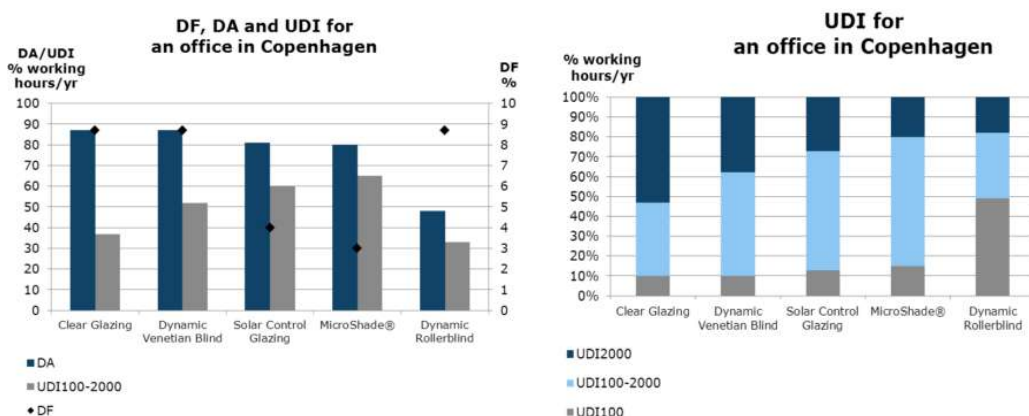
Fonseca e Pereira (2014) verificaram a contribuição da iluminação natural na redução do consumo energético em edifícios não residenciais, utilizando como metodologia as redes neurais artificiais. Dados de simulação da iluminação natural serviram para alimentar as redes neurais artificiais (RNAs), que utilizam modelos matemáticos inspirados na estrutura biológica do cérebro humano para a aquisição de conhecimento através da experiência.

Fonseca (2015, p.361) concluiu que as redes neurais artificiais (RNAs) “constituem-se uma técnica potencial para ser aplicada em desenvolvimento de métodos simplificados de

iluminação sob enfoque energético”. A pesquisa realizada teve como resultado a elaboração de modelos matemáticos que consideram a influência da iluminação natural no consumo energético das edificações.

Rasmussen e Vangeloglou (2015), fizeram uma pesquisa em edifícios de escritório em Copenhague orientados para a face Sul, com o objetivo de avaliar da influência de dispositivos de sombreamento na iluminação natural. As pesquisadoras utilizaram três métricas para fazer a tabulação dos dados: *Daylight Factor* (DF), *Daylight Autonomy* (DA) e *Useful Daylight Autonomy* (UDI). Elas verificaram que segundo a métrica *Daylight Factor* (DF) os melhores desempenhos ocorreram de acordo com a maior transmissão luminosa dos componentes da janela (Figura 16).

Figura 16: Imagem à esquerda. DF, DA e UDI para os cinco cenários, imagem à direita UDI100, UDI100-2000 e UDI200 para os cinco cenários



Fonte: Rasmussen e Vangeloglou (2015).

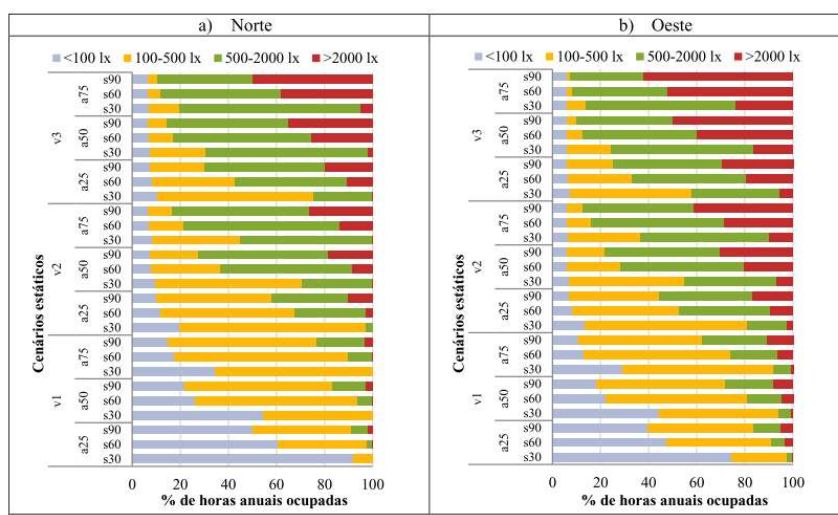
Portanto o cenário com o microsShade, que é uma tela solar, foi o que apresentou o pior desempenho. Porém quando a tabulação foi feita para a métrica UDI, considerando a frequência de ocorrência nos valores úteis de 100 a 2000lux, a opção do cenário com o microsShade foi o que apresentou o melhor resultado (Figura 16).

Portanto é necessário selecionar adequadamente a métrica de acordo com o objetivo da pesquisa.

Lima (2016) avaliou sistemas de janela estáticos e dinâmicos para suporte a decisões de projeto arquitetônico, quanto a diferentes critérios de desempenho relacionados à iluminação natural e uso de energia. A metodologia da pesquisa compreendeu o uso de simulação computacional nos programas Diva e Energy Plus para a obtenção de dados da iluminação natural e desempenho energético. A análise dos resultados foi realizada de

forma comparativa entre os diferentes cenários, que foram classificados e ordenados em relação ao seu desempenho para facilitar a avaliação dos mesmos. O desempenho da iluminação entre os diferentes cenários foi avaliado através da identificação visual dos intervalos de iluminâncias predominantes ao longo do tempo. Foram indicados os percentuais de horas anuais de trabalho em que a iluminância no plano de trabalho se encontra nas seguintes faixas: abaixo de 100 lx, entre 100 e 500lx, entre 500 e 2000lx e acima de 2000lx, conforme a Figura 17.

Figura 17: Ocorrência de diferentes faixas de iluminância no plano de trabalho



Fonte: Lima (2016).

Fernandes (2016) avaliou a relação de ofuscamento com a qualidade da vista externa. O método da pesquisa compreendeu na avaliação do desempenho e conforto visual dos usuários, através da comparação entre experiência e opinião dos usuários com avaliações técnicas. Nas avaliações técnicas foram realizadas atividades para a verificação do ofuscamento, através de medições com luminancímetros, fotografias HDR (*High Dynamic Range*) e simulações computacionais. Estas simulações foram realizadas no software DIVA com o objetivo de avaliar o desempenho visual (*Daylight Autonomy-DA*, *Useful Daylight Illuminance-UDI*) e conforto visual (*Annual Glare* e *Point-in-Time Glare*).

Como conclusão da revisão bibliográfica realizada verificou-se que a escolha da métrica de avaliação é muito importante para o entendimento do desempenho luminoso, assim como a definição do método que será utilizado, pois é ele que direcionará os procedimentos a serem realizados para a avaliação do desempenho luminoso dos espaços.

CAPÍTULO 3 - O MÉTODO DA PESQUISA

CAPÍTULO 4 - MÉTODO PROPOSTO PARA A ANÁLISE
DO DESEMPENHO LUMINOSO

CAPÍTULO 5- ESTUDOS ANALÍTICOS

PARTE 3

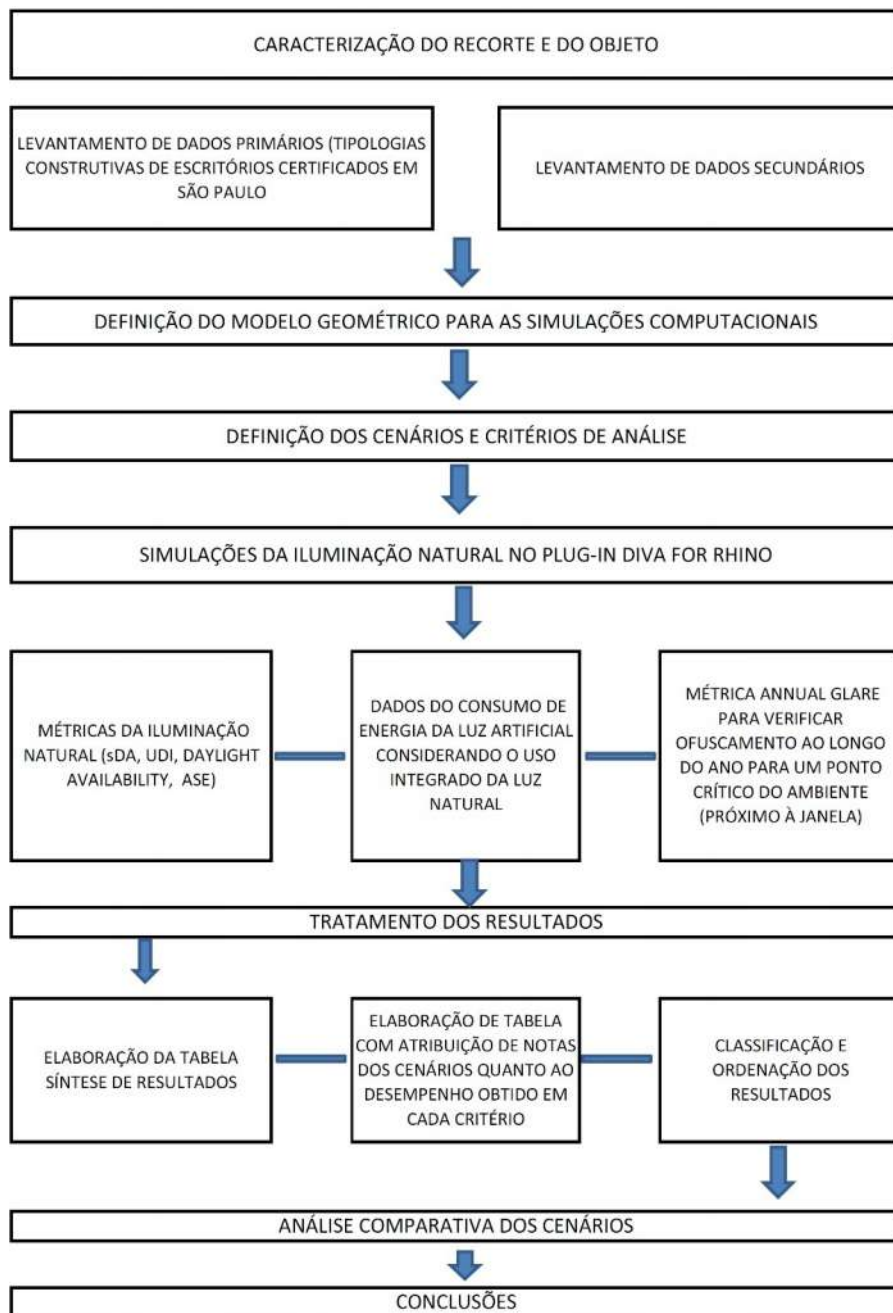


**PROCESSO EXPERIMENTAL
ANÁLISE DOS RESULTADOS**

3 O MÉTODO DA PESQUISA

O fluxograma a seguir ilustra as diversas tarefas executadas durante a pesquisa, bem como a ordem a qual estas foram realizadas.

Figura 18: Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autora da tese

3.1 Universo da pesquisa

O universo da pesquisa é composto pelos edifícios de escritório da cidade de São Paulo, que possuem certificação ambiental LEED ou AQUA-HQE, construídos no período de 2000 a 2015.

3.2 Etapas da pesquisa

Para analisar a iluminação natural em edifícios de escritório na cidade de São Paulo foram realizadas as seguintes etapas:

3.2.1 Levantamento de dados primários: tipologias de escritórios certificados de São Paulo construídos a partir do ano 2000

A amostra de edifícios selecionados para a pesquisa compreende as tipologias projetadas e construídas de edifícios de escritório da cidade de São Paulo, entre os anos 2000 a 2016. Foram selecionados os edifícios que possuem certificação ambiental LEED ou AQUA para a verificação do desempenho desta tipologia que vem sendo executada.

O levantamento dos edifícios foi realizado através do site do GBC Brasil (*Green Building Council Brazil*), responsável pela certificação LEED e através do site da fundação Vanzolini, responsável pela certificação AQUA. Foram levantados 38 edifícios de escritório certificados na cidade de São Paulo pelo LEED na categoria *Core & Shell* (Envoltória e Estrutura Principal). Esta certificação engloba a solução da fachada, sistema de ar condicionado, estrutura principal, como caixa de escadas e elevadores e toda a área comum. Em relação à certificação AQUA foram levantados 6 edifícios de escritório.

Portanto o levantamento total foi de 43 edifícios de escritório certificados pelo LEED *Core and Shell* e pelo AQUA. Foram escolhidas estas duas certificações ambientais de sustentabilidade, pois estas são as duas - com maior repercussão no Brasil para a tipologia de escritório.

Deste total de 43 edifícios levantados foi selecionada uma amostragem de 70%, no caso 28 edificações. Estas edificações foram selecionadas considerando a facilidade de se encontrar os dados necessários e também considerando o projeto e obra realizados por diferentes arquitetos e construtoras.

Para esta amostragem foi feita uma pesquisa mais aprofundada sobre as principais características construtivas das mesmas. Estas informações foram utilizadas para

conformar o modelo de edifícios de escritório que representará as construções realizadas no período selecionado e serão utilizadas nas simulações computacionais.

Para caracterizar esta tipologia de edifícios de escritório certificados construídos a partir dos anos de 2000 foi feita uma pesquisa na internet, em revistas especializadas e em teses e dissertações objetivando encontrar dados sobre estas edificações.

Os dados obtidos que serviram para montar o modelo-base para as simulações são:

- Formato da planta
- Proteção solar: se existe proteção externa (brises) ou proteção interna (persianas, telas solares, etc.) e se esta proteção solar tem algum tipo de automação.
- Verificação se há ou não núcleo central (core)
- Profundidade da planta
- Tipo de vidro utilizado com dados como transmissão luminosa (TL) e fator solar do vidro (FS)
- WWR (*Window Wall Ratio*) das fachadas. Neste trabalho o WWR é a porcentagem de vidro da fachada correspondente ao pé-direito interno do ambiente (piso ao forro), desconsiderando-se a área da fachada dos componentes opacos (laje, viga, paredes, etc.).
- Pé- direito do ambiente

Algumas informações como o WWR das fachadas e a profundidade das plantas nem sempre estavam disponíveis nas fontes pesquisadas. Para obter estas informações foi utilizado o programa AutoCAD para importar as plantas encontradas das edificações e através de alguma referência de medida na planta²³ foi dada uma escala para que este desenho ficasse com as medidas reais. Desta forma foi possível medir a profundidade da planta.

Em relação ao WWR foi desenhada a fachada de um pavimento da edificação no AutoCAD, considerando as informações da planta que estavam na escala real e desenhos de corte ou fotos internas dos escritórios na qual era possível identificar visualmente a proporção entre as áreas envidraçadas e áreas opacas compreendidas entre o piso acabado e o forro do ambiente. Assim, após fazer os desenhos em vista das fachadas no AutoCad, foi possível medir a área total das mesmas e a área envidraçada e fazer uma relação entre estes valores para chegar ao WWR (*Window Wall Ratio*).

²³ Esta referência de medida era algum elemento da planta com tamanho conhecido (dimensão da porta, por exemplo) ou algum elemento que tinha cota que foi utilizado para dar a escala da planta arquitetônica.

Foi feito um fichamento para cada edifício da amostra com o levantamento das características dos mesmos, conforme o modelo preenchido a seguir. O fichamento de todos os edifícios pesquisados e o resultado final com a tabulação dos dados dos edifícios analisados encontram-se no apêndice A.

Figura 19: Ficha modelo para o preenchimento do levantamento de dados das características arquitetônicas dos edifícios avaliados

Dados do Edifício

Nome do Edifício
 Rocha Vera Corporate Towers - Torre A 1

Endereço:
 Nações Unidas, 14171

Bairro
 Vila Gertrudes

Cep: 04794-000 Data de construção: torres A e B-2008

Arquiteto:
 Afalo e Gasperini e Purarquitectura

Construtora:



Dados Físicos

Área Total 233.700m ²	Área por pav. Tipo varia entre 1642 e 1976m ²	Área da sala
Número de Pav. Tipo 16	Sala por pav. Tipo 1 a 4	Núcleo central (core) Sim
Tipo de Proteção Solar Nenhuma externa	Formato da Planta retangular	Profundidade da Planta varia entre 11,40 e 21,20 na face inclinada do última andar
Tipo de vidro Cool Lite 125 PN(Cebrace) Classic Prata Laminado	TL FS 24% 36%	Pé- Direito (piso a forro) 2,8

Fachadas WWR

NORTE	SUL	LESTE	Oeste	■ Faces menores
64%	61%	64%	61%	■ Faces maiores

Observações

Fonte: Autora

3.2.2 Levantamento de dados secundários

Esta etapa compreendeu o levantamento e análise de trabalhos relevantes em âmbito nacional e internacional.

Foram realizadas pesquisas bibliográficas e levantamento de dados secundários sobre os seguintes assuntos:

- Benefícios da luz natural
- Conforto Visual
- Integração da luz natural à artificial e sistemas de controles da iluminação artificial verificando as possibilidades tecnológicas e formas de acionamento
- Edifícios de escritório na cidade de São Paulo
- Iluminação natural em escritórios
- Métricas da luz natural
- Eficiência energética em edifícios de escritório
- Simulação energética
- Simulação da iluminação natural
- Simulação térmica
- Sistemas de sombreamento em edifícios de escritório
- Normas e regulamentos para a iluminação natural

3.2.3 Definição do modelo referencial para as simulações computacionais

Os modelos referenciais utilizados nas simulações foram desenvolvidos pela autora desta tese, levando-se em consideração algumas características propostas por outros pesquisadores como Dilonardo (2001), Pirró (2005), Benedetto (2007), Figueredo (2007) e Marcondes (2010) que conceberam os seus modelos baseados em características projetuais dos edifícios de escritório na cidade de São Paulo. Além disto, foram utilizadas as informações do levantamento das principais características construtivas de 28 edifícios de escritório construídos entre 2000 a 2015 e que possuem certificação LEED e AQUA.

3.2.3.1 Análise dos dados do levantamento das características dos edifícios para a definição do modelo geométrico

Os dados obtidos sobre as principais características identificadas nos edifícios de escritório da amostra selecionada foram agrupados em uma tabela resumo que se encontra no apêndice A. Após a análise destes dados foi possível identificar as principais características para a tipologia local, conforme a análise a seguir:

1) A planta do pavimento tipo tem o formato predominantemente retangular ou quadrado, apresentando o core de serviços central. Cerca de 40,5% da amostra apresenta área do pavimento tipo entre 1000m² a 1500m², 32,4% entre 1600m² a 1900m², 21,6% entre 400m² a 900m² e 5,4% entre 2000m² a 3000m².

2) O sistema construtivo predominante das fachadas é a cortina de vidro com as áreas opacas de colunas, vigas, lajes e paredes cobertas com o sistema *spandrel glass*, que é um vidro opaco usado para revestir o sistema estrutural e paredes internas. As paredes internas da fachada são executadas predominantemente em dry wall, constituindo um sistema leve e isolado.

3) O Percentual de abertura da fachada (WWR) variou entre 40% e 55% para 34% da amostragem, WWR entre 56% a 70%, para 48% da amostragem e WWR entre 70% a 100% para 19% da amostragem. Verificou-se que a maior frequência de ocorrência de WWR são valores próximos a 60%, sendo este o valor definido para o modelo.

4) O Fator Solar (FS) do vidro variou entre 25% e 38%, sendo que 61,5% da amostragem apresentou o fator solar (FS) entre 35% a 38%. O valor de 36% foi o que ocorreu com maior frequência dentre a amostra selecionada.

5) A transmissão luminosa variou entre 19% e 35% (TL) para 78,6% da amostra. A parcela de 14,3% da amostra apresentou 12% de (TL) e o restante (7,1%) apresentou 70% de (TL). Vale ressaltar que dos 28 edifícios analisados foi possível obter os dados de transmissão luminosa de apenas 14 edifícios, isto é, 50% da amostragem.

Dentre a faixa de 19% a 35% de (TL) foi selecionado o valor de 24% para representar o modelo, pois este é o valor que mais se repetiu na faixa selecionada.

Com o objetivo de obter outro valor de transmissão luminosa que tivesse uma porcentagem maior deste índice (TL), buscou-se nos catálogos de fornecedores vidros com controle solar²⁴, considerados de alto desempenho para climas quentes, devido à baixa transmissão térmica. Para tal foram selecionados vidros com o valor do Fator Solar (FS) entre 30% a 40%.

Após a seleção de 50 tipos de vidro, os mesmos foram divididos em 6 grupos de acordo com uma faixa determinada de transmissão luminosa, para ser verificada a porcentagem de vidros que se encontrava em cada categoria:

²⁴ Fator solar é a transmissão direta da radiação solar pelo vidro mais a parcela da energia absorvida e reirradiada para o interior. Por isto, quanto menor o Fator Solar menos calor o vidro transfere para o interior. Vidros com controle solar possuem o Fator Solar < 40% (Westphal, 2015)

Grupo 1- 10% a 19% de transmissão luminosa: 22% da amostragem

Grupo 2 - 20% a 29% de transmissão luminosa: 22% da amostragem

Grupo 3 - 30% a 39% de transmissão luminosa: 28% da amostragem

Grupo 4 - 40% a 49% de transmissão luminosa: 8% da amostragem

Grupo 5 - 50% a 59% de transmissão luminosa: 14% da amostragem

Grupo 6 - 60% a 70% de transmissão luminosa: 6% da amostragem

Foi selecionado o valor de 55% de transmissão Luminosa, que faz parte do grupo 5, para representar os vidros com uma melhor performance no quesito da transmissão da luz, com o valor do Fator Solar (FS) entre 30% a 40%. Apesar do grupo 6 ter o maior valor de (TL) da amostra ele não foi selecionado devido a pequena representatividade desta amostra.

Vidro com TL de 88% que representa o vidro simples, não foi encontrado na amostragem. Porém este valor de TL foi usado nos cenários de simulação, considerando que o objetivo era comparar o desempenho luminoso com diferentes valores de TL: baixo (24%), médio (55%) e alto (88%).

6) O pé-direito de 2,80m apresentou a maior frequência de ocorrência 46,4% da amostragem, 14% apresentou 2,70m, 17,85% apresentou 2,75m, e o restante entre 2,85m a 3,20m.

7) Profundidade variou entre 5,74 a 22,3. Com o objetivo de obter três amostras que fossem significativas e que representassem valores de menor a maior profundidade, aglomerou-se a variação de resultados em três grupos:

Grupo 1- valores de profundidade variando entre 5m a 9m

Grupo 2- valores de profundidade variando entre 10m a 16m

Grupo 3 - valores de profundidade variando entre 17m a 22m

Para o grupo 1 obteve-se 23,5% da amostragem.

Para o grupo 2 obteve-se 64,7% da amostragem

Para o grupo 3 obteve-se 11,8% da amostragem

Portanto conclui-se que na maior parte dos empreendimentos a profundidade dos ambientes varia entre 10m a 16m.

Para representar a profundidade de cada grupo foi feita uma média entre os valores obtidos por grupo chegando-se às seguintes dimensões para os modelos a serem construídos: 8m, 12m e 21m

3.2.4 Características dos modelos adotados

Foram concebidos três modelos geométricos de planta do pavimento da edificação. A partir desta planta do pavimento, chegou-se na dimensão final da planta do escritório, que foi utilizada para a realização das simulações. As principais características dos modelos do pavimento são:

- Forma paralelepípedica com quatro zonas periféricas;
- Modelo 1 e 2 com planta tipo de 35x35m (1225M²), baseados na dimensão definida por Pirró (2005) e modelo 3 com planta 55m x 55m (3025m²). Este último modelo com o tamanho maior de pavimento tipo foi utilizado para a maior profundidade de planta (21m) (Figura 20, Figura 21, Figura 22);
- Existência de uma zona central (core);
- Altura do pé-direito (piso acabado ao forro): 2,80m;
- Cada modelo tem uma profundidade de planta do escritório com diferentes dimensões: 8m, 12m e 21m.

Estas variações de profundidade de planta foram combinadas com o WWR (*Wall Window Ratio*) de 60% em todos os modelos, pois foi o que apresentou maior frequência de ocorrência e três tipos de vidro diferentes com os seguintes valores de transmissão luminosa: 88%, 24%, 55%.

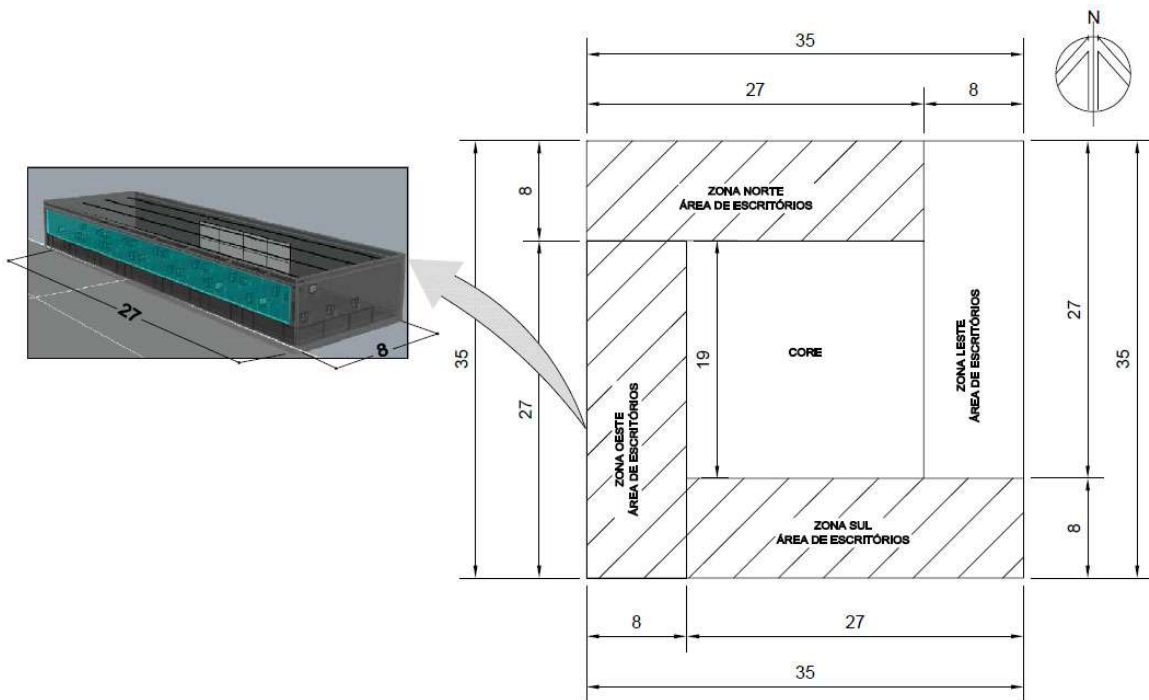
As simulações utilizando o modelo de escritório foram realizadas para três orientações de fachada (Norte, Sul e Oeste).

Considerando que o Sol é simétrico para as faces Leste e Oeste, optou-se por simular apenas na face Oeste, que possui um período mais estendido de horas²⁵ de ocupação do edifício, com o Sol nesta metade da abóbada celeste, se comparar com a face Leste.

Vários cenários foram concebidos e testados considerando as áreas dos vidros em diversas situações relacionadas ao sombreamento das mesmas: aberturas sem elementos de proteção solar externo e interno, com elementos de elementos de proteção solar interno e com elementos de proteção solar externo e interno. As descrições destes cenários aparecem de forma mais detalhada no capítulo 5.

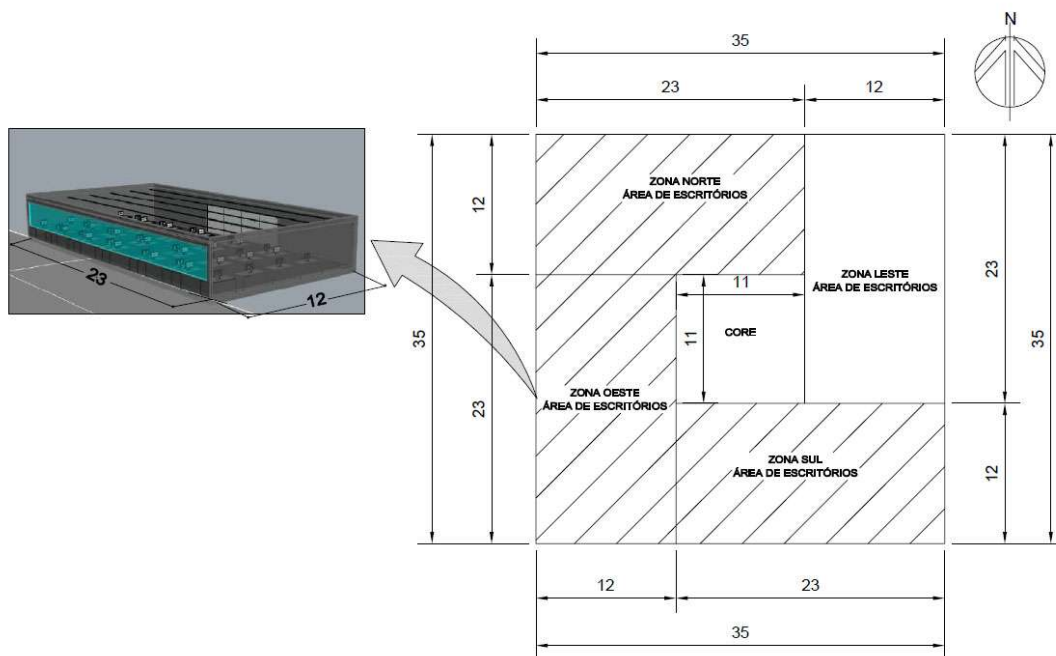
²⁵ Considerando o período de trabalho das 8h às 18h: período de ocupação com Sol na face Leste (8h às 12h) e na face Oeste (13h às 18h)

Figura 20: Modelo 1- Pavimento 35mx35m e planta do escritório27m x 8m de profundidade



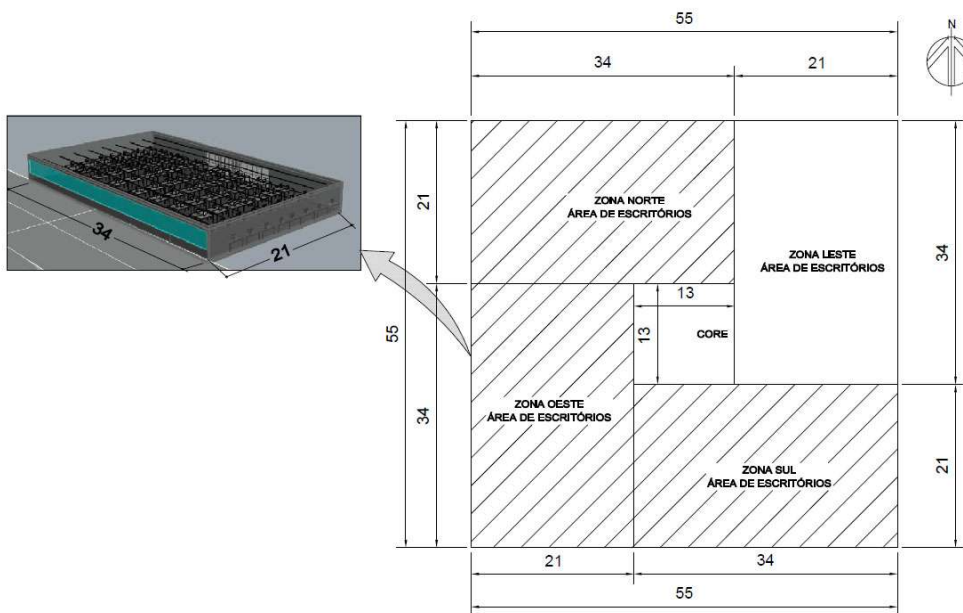
Fonte: Autora da tese.

Figura 21: Modelo 2- 35mx35m e planta do escritório23m x 12m de profundidade



Fonte: Autora da tese.

Figura 22: Modelo 3- 55mx55m e planta do escritório 34m x 21m de profundidade



Fonte: Autora da tese.

3.3 Definição de premissas para a determinação dos cenários

Após a elaboração das características dos modelos geométricos foi necessário definir os cenários a serem avaliados. O planejamento dos cenários foi uma etapa muito importante da pesquisa. Através da variação de uma ou mais características entre os cenários é possível chegar a conclusões sobre a influência das variáveis envolvidas no processo, comparando desempenho final destes cenários.

Algumas questões importantes que podem ser consideradas premissas para a definição dos cenários foram:

- 1) Verificação da influência das orientações na disponibilidade de luz natural interna, considerando a radiação solar direta recebida em cada fachada. Para tal definiu-se três orientações a serem testadas: Norte, Sul e Oeste
- 2) Verificação da influência da transmissão luminosa do vidro (TL) para verificar a disponibilidade de luz interna e a sua distribuição no interior do ambiente.
- 3) Verificação da influência da profundidade do ambiente em relação à abertura para

determinar a zona passiva de iluminação.

4) Verificação da influência dos dispositivos de proteção solar externos e internos e sua a forma de acionamento.

A descrição destes cenários, assim como a definição dos critérios de desempenho para a avaliação do desempenho luminoso dos mesmos aparece com maiores detalhes no capítulo 5 - Estudos Analíticos.

3.4 Simulações computacionais para a verificação do desempenho da iluminação natural

Para verificar a hipótese desta pesquisa foram realizadas simulações computacionais do desempenho luminoso dos modelos computacionais, nas quais foi possível verificar as questões relativas à disponibilidade de luz natural, sua distribuição, conforto visual e a integração do sistema de iluminação artificial ao natural.

Os modelos avaliados levaram em consideração a influência de algumas variáveis arquitetônicas no desempenho da iluminação natural, mais especificamente: a profundidade dos ambientes, variação da transmissão luminosa dos vidros, a presença ou ausência das proteções solares (internas e externas) e a interferência dos usuários nos ajustes das proteções solares internas.

As pesquisas de iluminação natural nas edificações mais atualizadas utilizam os modelos de simulação computacional dinâmicos, que são baseadas em valores de dados climáticos anuais e servem para indicar o comportamento da luz ao longo do ano. (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006; MARDALJEVIC; HESCHONG; LEE 2009).

Os modelos de simulação estáticos avaliam situações pontuais em uma determinada data, hora do dia e condição de céu específico.

Para a realização da pesquisa foi fundamental a escolha da ferramenta de simulação adequada, de acordo com o objetivo pretendido. Buscou-se uma ferramenta de simulação que tem como resultados métricas dinâmicas da iluminação natural.

O uso das ferramentas de simulação dinâmica vem sendo utilizada por diversos pesquisadores para a análise do desempenho energético dos edifícios e segundo Albuquerque e Amorim (2012, p.40):

"A principal vantagem das medidas de desempenho dinâmico em comparação com as medidas estáticas é que as primeiras consideram a quantidade e a natureza das variações diárias e sazonais da iluminação natural para determinado edifício, em determinado sítio, juntamente com eventos meteorológicos irregulares".

As simulações foram feitas no plug-in DIVA²⁶ for Rhino , versão 4.0, usado de forma integrada ao software para modelagem tridimensional, Rhinoceros 3D²⁷, versão 5.0. A simulação é realizada a partir de um modelo tridimensional do ambiente, no qual são definidas todas as variáveis que interferem na luz: propriedades ópticas das superfícies, dados do local de implantação (latitude, longitude) e dados do arquivo climático.

O plug-in DIVA realiza as simulações através de uma integração com outros modelos de cálculo, os softwares Radiance e Daysim, para o cálculo da luz natural e o Energy Plus, para os cálculos das cargas térmicas (JAKUBIEC; REINHART, 2011).

Este método integrado do DIVA com outros softwares permite a obtenção simultânea de avaliações de iluminação natural e artificial, térmicas, radiação solar, probabilidade de ofuscamento e eficiência energética de forma mais rápida, pois possibilita avaliações integradas de várias funções em uma única plataforma, evitando que sejam exportados os dados para softwares específicos referentes a cada tipo de análise (JAKUBIEC; REINHART, 2011).

As ferramentas de cálculo utilizadas pelo plug-in DIVA foram validadas em diversas pesquisas anteriores (MARDALJEVIC,1999; UBBELOHDE; HUMMAN,1998; REINHART; WALKENHORST, 2001; REINHART; ANDERSEN, 2006).

O software *Daysim*, que é um dos motores de cálculo do Diva, utiliza o algoritmo de cálculo do Radiance, baseado no *backward raytracer*²⁸, para calcular a distribuição da luz, utilizando o método *Daylight Coefficient*, que facilita os cálculos de luz natural sob todas as condições de céu (REINHART, 2006).

O *Daylight Coefficient* não deve ser confundido com o *Daylight Factor* (DF). Este conceito foi desenvolvido por Tregenza em 1983, como um método de cálculo de luz natural para condições arbitrárias de céu. Ele divide a abóbada celeste em diversas partes e calcula a contribuição de cada parte para o nível de iluminação de um ponto de referência interno do edifício. Desta forma é possível calcular em segundos, a iluminância ou luminância de um ponto interno do ambiente, uma vez que o *Daylight Coefficient* de cada parte do céu já foi calculado anteriormente. Este método utiliza o modelo de céu de Perez para calcular

26 Disponível em: < <http://diva4rhino.com/>>. Software desenvolvido pela *Graduate School of Design at Harvard* e distribuído pela empresa Solemma LLC.

27 Disponível em :<<https://www.rhino3d.com/>>. Software desenvolvido pela Robert McNeel & Associates.

²⁸ Método do traçado de um raio: Pode ser resumido como a perseguição do traçado do raio luminoso para verificar o caminho percorrido pelo traçado de luz do ponto medido até a fonte (RADSITE, 2015, apud LIMA, 2016).

as luminâncias de cada pedaço de céu usado na análise (REINHART, 2006).

O modelo de céu de Perez possibilita a inserção de dados climáticos locais, hora a hora, através de arquivos climáticos, considerando as variações do céu ao longo do ano.

Segundo Reinhart (2006) através do uso combinado do motor de cálculo Radiance com o *Daylight Coefficient* e os Modelos de Céu de Perez é possível prever com bastante precisão a iluminação natural, caso as propriedades geométricas e ópticas dos materiais sejam conhecidas. O principal problema das simulações decorre dos erros devido às incertezas com as quais os usuários dos edifícios irão controlar as condições ambientais internas, seja para ajustar dispositivos de sombreamento internos (persianas, telas solares) ou a forma de acionamento do sistema de iluminação artificial.

Neste sentido é importante trazer o usuário para o centro do debate, na tentativa de entender como o seu comportamento irá influenciar a iluminação natural e a eficiência energética nas edificações.

O software *Daysim* possui um modelo de cálculo para prever o comportamento do usuário chamado *Lightswitch* (REINHART, 2004). Este algoritmo é usado para verificar padrões de comportamento do usuário em relação aos ajustes de condições internas (interruptores de luz, aberturas de persianas) e a sua influência no consumo do sistema de iluminação artificial. Ele foi baseado em estudos de campo realizados no mundo ocidental e tem o objetivo de imitar a interação dos usuários com os controles pessoais. Possui diferentes tipos de usuários para representar variação de comportamento entre os ocupantes.

Este usuário pode ser ativo²⁹ ou passivo³⁰. Os efeitos do comportamento do usuário terão reflexos na disponibilidade de luz e o consumo de energia do sistema de iluminação artificial (REINHART 2004, 2002).

Os dados de entrada do programa Daysim incluem: a descrição dos sistemas de controle da luz artificial que pode ser: manual, dimerizável, sensor de presença, o comportamento

²⁹ O usuário ativo em relação ao sistema de sombreamento é aquele que abre a persiana ou tela solar durante a manhã e após a hora do almoço, fechando este dispositivo no momento que incide a radiação solar direta no plano de trabalho. Para evitar a radiação solar direta no plano de trabalho, o modelo de comportamento do usuário considera que o dispositivo de proteção solar interno será fechado até o final da hora do almoço ou até a manhã seguinte, sendo reaberto nestes períodos, se não houver mais a incidência da radiação solar. (JAKUBIEC, REINHART, 2012). No software Diva, a ativação da proteção solar poderá ocorrer pela incidência da radiação do Sol no plano de trabalho ou pelo desconforto visual, comandado pela simulação de ofuscamento *annual glare*.

³⁰ O usuário passivo em relação ao sistema de sombreamento interno é aquele que deixa este dispositivo fechado durante o ano para evitar a radiação solar direta (JAKUBIEC, REINHART, 2012).

do usuário (consciência energética/ ativo ou passivo) e o controle do dispositivo de sombreamento interno (manual ou automatizado) (REINHART 2004).

O software Diva, por utilizar o programa Daysim como motor de cálculo, possibilita todas estas entradas de variáveis para a predição do comportamento da luz natural, luz artificial e eficiência energética da edificação.

Desta forma é possível prever, por exemplo, quando o usuário irá abaixar a persiana devido ao ofuscamento, quando ele irá acionar o sistema de iluminação artificial, quando a luz artificial será dimerizada devido à variação da disponibilidade de luz natural entre outros.

O algoritmo de controle do sistema de sombreamento, no Diva, permite escolher se o acionamento será manual ou automatizado. No caso do acionamento manual, isto é, realizado pelo usuário do edifício, o software considera o comportamento do usuário como ativo. Para que este usuário acione o dispositivo de proteção solar é necessário informar ao programa uma das duas opções para comandar esta ação: 1) acionamento ocorre devido à ocorrência do ofuscamento perturbador em um ponto ou mais, selecionado (s) no interior do ambiente,

2) acionamento ocorre devido à incidência da radiação solar direta no plano de trabalho.

Para simular o usuário passivo deve-se modelar o dispositivo de proteção interno cobrindo toda a janela e informar ao programa que este dispositivo é estático, isto é, permanecerá fechado ao longo do ano.

O acionamento do sistema de sombreamento de forma automatizada³¹ pode ser controlado de acordo com dados de entrada que o usuário do programa deve fazer. Este controle pode ocorrer: segundo condições térmicas, condições de ofuscamento ou período de resfriamento.

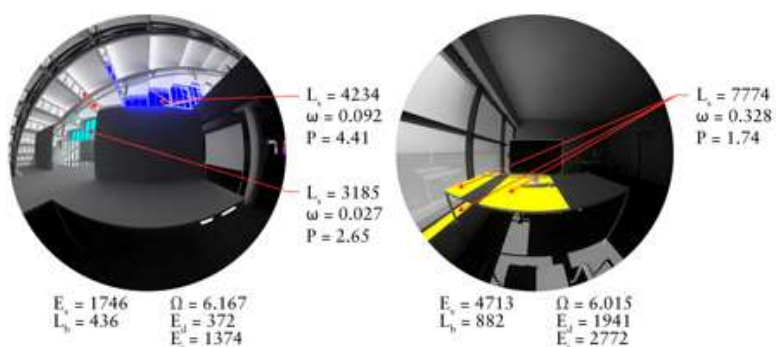
Outra saída de resultado que o software Diva pode disponibilizar são as simulações sobre a probabilidade de ofuscamento, que usa o DGP (*Daylight Glare Probability*), métrica recente proposta por Wienold (2009). Esta métrica mostra-se adequada para verificar as questões de ofuscamento em espaços naturalmente iluminados (JAKUBIEC, REINHART, 2012).

Duas saídas de resultado são possíveis no software Diva para a obtenção de dados sobre ofuscamento: *point in time glare* e *annual glare*

³¹ Disponível em <<http://diva4rhino.com/user-guide/rhino/advanced-shading>>

*Point in time Glare*³² que mostra a imagem de uma vista do ambiente, simulando o ponto de visão de um usuário e representa o conforto visual do mesmo. O índice DGP (Daylight Glare Probability) é usado para avaliar as condições de conforto, considerando o brilho de todas as áreas da visão, fontes de ofuscamento e o contraste visual. Ele demonstra as condições para um determinado dia e hora (Figura 23).

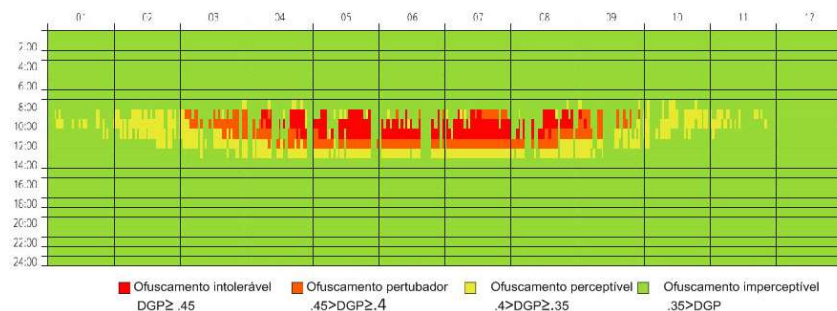
Figura 23: Resultado de simulação *Point in Time* para dois ambientes diferentes



Fonte: <http://diva4rhino.com/>

*Annual glare*³³ mostra a avaliação do conforto visual ao longo do ano, para um determinado ponto de vista no interior do ambiente. É uma métrica dinâmica na qual é possível avaliar, através do DGP, a possibilidade de ocorrência de desconforto devido ao ofuscamento (Figura 24).

Figura 24: Resultado de um cálculo anual de probabilidade de ofuscamento (anual glare) para um usuário sentado ao lado de uma janela



Fonte: Autora (simulação Diva).

³² Disponível em < <http://diva4rhino.com/user-guide/simulation-types/point-in-time-glare>>

³³ Disponível em < <http://diva4rhino.com/page/annual-glare-analysis>>

No software Diva, a simulação de ofuscamento anual (*Annual Glare*) pode ser combinada com o modelo de comportamento do usuário (Lightswitch) para determinar como o dispositivo de sombreamento será acionado ao longo do ano, baseado na experiência de desconforto visual dos ocupantes (WIENOLD, 2007).

No eixo da abcissa do gráfico aparecem os meses do ano e no eixo das ordenadas aparecem as horas do dia. As cores: verde, amarelo, laranja e vermelho correspondem a valores de DGP que podem variar de um valor de ofuscamento imperceptível ($35 < \text{DGP}$), até um ofuscamento intolerável ($\text{DGP} \geq .45$).

Esta simulação do *annual glare* foi utilizada por esta pesquisa para ativar fechamento das persianas internas, nos cenários os quais os dispositivos de proteção solar internos eram acionados de forma manual pelos usuários.

Outra possibilidade da ferramenta Diva é a simulação da iluminação artificial e da energia consumida pelo sistema ao longo do ano, considerando as diferentes formas de acionamento dos dispositivos de proteção solar e dos sistemas de controle elétrico.

Os sistemas de controle elétrico da iluminação artificial consideram diferentes formas de acionamento:

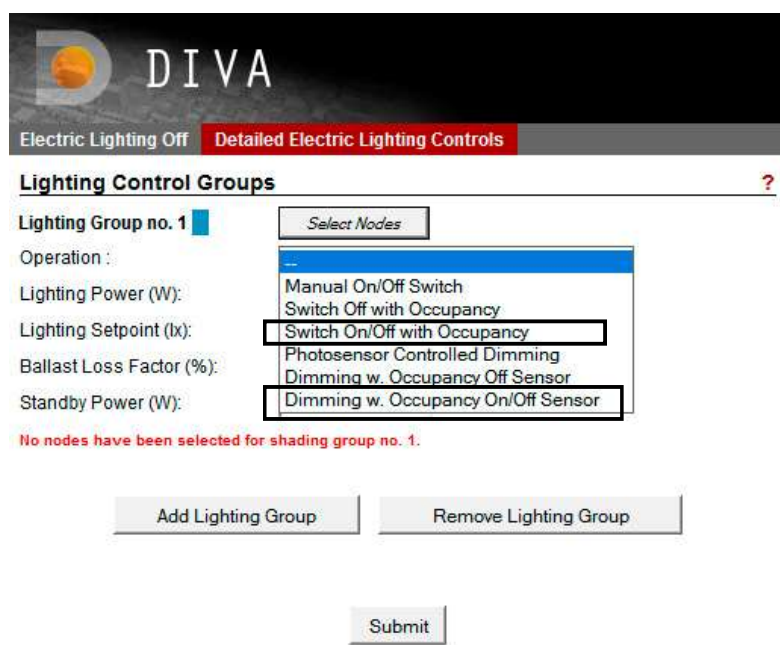
- 1) Controles manuais mimetizam o comportamento dos usuários segundo o algoritmo Lightswitch-2002 (REINHART, 2004). Este tipo de controle imita o comportamento do usuário de acordo com a probabilidade deste acionar ou desligar a iluminação artificial. Considera que no início do período de trabalho a probabilidade do usuário acionar o sistema de iluminação artificial depende do nível de iluminação natural que ele encontra no ambiente;
- 2) Controles automatizados, que consideram a dimerização as lâmpadas do sistema de iluminação artificial, através de sensores de luz natural. Estes sensores verificam o nível de iluminação natural em pontos selecionados no ambiente e ajustam a iluminação artificial para complementar estes níveis. Os ajustes são realizados de acordo com um *setpoint* (valor-alvo) da iluminação artificial definido nos dados de entrada do programa;
- 3) Controles através de sensores de presença, que consideram que a iluminação artificial será ligada e/ou desligada devido a presença de usuários no período de trabalho.

Nesta pesquisa todos os cenários foram simulados considerando dois tipos de controle. Os cenários base consideram que a iluminação artificial tem acionamento através de sensores de presença on/off. Este controle considera que o sistema de iluminação artificial será acionado no início do período de trabalho e desligado no final deste período.

Todos os outros cenários foram simulados considerando controles automatizados da iluminação, que dimerizam a luz artificial de forma contínua, para complementar os níveis disponíveis de luz natural. Este controle dimerizado utilizado na simulação possui um sensor de presença que on/off que liga o sistema no início do período de trabalho, desligando-o no final deste período.

A Figura 25 mostra as possibilidades de sistemas de controle elétrico disponíveis no Diva. Aqueles marcados com um retângulo representam os controles usados nas simulações realizadas nesta pesquisa.

Figura 25: Interface do programa Diva com as diversas possibilidades de controle elétrico por grupos de luminárias



Fonte: Software Diva.

Devido às possibilidades do programa Diva abordadas acima, este software de simulação foi considerado adequado para os objetivos propostos pela tese. Esta ferramenta possibilita verificar a disponibilidade de luz natural, considerando a influência do comportamento do usuário nos acionamentos dos controles de sombreamento das janelas e controles elétricos da iluminação artificial.

3.5 Tratamento dos dados

Após a realização das simulações de 87 cenários, diversos resultados foram disponibilizados pelo programa Diva. O tratamento de dados é uma etapa importante para a compreensão do desempenho luminoso dos cenários, visto que devem ser avaliados diferentes critérios para verificar se as metas foram atingidas. As metas visam avaliar o desempenho em três categorias: disponibilidade de luz natural, conforto visual e eficiência energética.

Para fazer o tratamento dos dados foram realizadas duas etapas principais:

- 1) Elaboração de uma tabela síntese com resultados das diferentes categorias da iluminação: disponibilidade de luz natural, conforto visual e eficiência energética. Após a organização desta tabela é necessário analisar se o projeto atinge um desempenho mínimo considerado adequado, de modo a possibilitar sua aprovação ou reprovação, de acordo com os pré-requisitos estabelecidos.
- 2) Classificação e ordenação das alternativas, segundo uma pontuação definida, com base em diferentes critérios de avaliação. Esta classificação permitiu realizar análises comparativas entre os cenários, ordenando-se em classificação decrescente em relação do desempenho luminoso, do melhor para o pior desempenho.

O método de análise dos dados compreendendo das duas etapas acima é um dos produtos desta tese. O detalhamento dos procedimentos propostos deste método é abordado com maiores detalhes no capítulo 4 –Método proposto para a análise do desempenho luminoso

4 MÉTODO PROPOSTO PARA A ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO

Esta tese teve como objetivo verificar as condições da iluminação natural no interior de modelos computacionais que representam ambientes de escritórios com diferentes profundidades da planta, tipos de vidro, orientações das fachadas e proteções solares.

Para a análise dos resultados, propõe-se uma metodologia multicritério que avalie as questões da iluminação natural sob diferentes aspectos: disponibilidade de iluminação natural, conforto visual e energia.

Este método é um dos produtos desta tese e tem por objetivo selecionar e organizar as informações de forma adequada para facilitar a compreensão e análise do desempenho nos diversos cenários estudados.

Este método compreende duas etapas:

- 1) Elaboração de uma tabela síntese com resultados das diferentes categorias da iluminação: disponibilidade de luz natural, conforto visual e eficiência energética.
- 2) Classificação e ordenação das alternativas, segundo uma pontuação definida, com base em diferentes critérios de avaliação estabelecidos previamente.

4.1 Tabela síntese de resultados

A elaboração da tabela síntese tem como objetivo selecionar e organizar os dados obtidos através das simulações e estudos de forma a apresentar resultados que possibilitem a análise do desempenho luminoso dos modelos, considerando as seguintes categorias: disponibilidade de iluminação natural, conforto visual e energia.

Foram selecionadas algumas métricas e resultados do desempenho luminoso, considerados mais adequados para compor a tabela síntese, de forma a representar cada categoria referida acima. Estes resultados que compõem a tabela são apresentados em forma de dados numéricos, imagens das simulações e gráficos.

Não é possível avaliar de maneira adequada o sucesso do sistema de iluminação utilizando-se apenas de uma única métrica de iluminação (IESNA Daylight Metrics Committee, 2012).

A avaliação dos resultados do desempenho luminoso foi realizada com os critérios de desempenho e pré-requisitos para a aprovação, previamente estabelecidos. Os critérios de desempenho são indicadores para verificar se a meta estabelecida foi alcançada.

A tabela síntese é composta por 3 partes, organizadas em tabelas distintas, sendo que a parte 1 da tabela organiza dados numéricos e as partes 2 e 3 organizam informações

visuais e gráficas.

4.1.1 Tabela síntese – parte 1

A parte 1 da tabela, organiza dados numéricos que são retirados dos resultados das simulações e estudos realizados (Tabela 2). Nela aparece a descrição sobre os cenários que foram simulados, dados da disponibilidade de luz natural, dados de conforto visual e dados de energia. As duas últimas colunas são espaços destinados para marcar se o projeto (cenário) analisado foi aprovado ou reprovado, após a verificação dos dados na sequência.

Na tabela síntese os cenários que aparecem pintados em cinza serão avaliados segundo as recomendações da IES LM-83-12 (IESNA Daylight Metrics Committee, 2012) e os critérios estabelecidos por esta tese. Por este motivo no campo de aprovação ou reprovação deste cenário aparecerão dois tipos de avaliações que podem ter o mesmo resultado ou resultado diferente.

Para facilitar o entendimento da tabela-síntese parte -1 serão ampliadas as áreas da tabela contendo as seguintes informações: descrição do cenário, disponibilidade de luz natural, conforto visual e energia.

As primeiras três colunas são destinadas à descrição do cenário analisado: dados da transmissão luminosa do vidro, dimensão da profundidade do ambiente, nomenclatura do arquivo de simulação e uma breve descrição deste cenário (Tabela 1).

Tabela 1: Área da tabela síntese- parte 1 com a descrição dos cenários analisados

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação
		Escritório Face Norte WWR=60%
		1N_V1_P1_S
Vidro 1 TL=88%	8m	Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa

Fonte: Autora da tese

Tabela 3: Área da tabela síntese – parte 1
- Disponibilidade de luz Natural-

Disponibilidade de Iluminação Natural		
1) DA 300lux (50%) (% da área)	2) NDI= DA 300lux (50%) - overlit (% da área)	3) UDI <100- 2000lux> acima de 50% horas ocupadas (% da área)
100%	49%	56%
5%	0%	11%
sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12	
92%	52%	83%

Fonte: Autora da tese

Na tabela- parte 1, a quarta, quinta e sexta colunas apresentam informações sobre a categoria de avaliação “Disponibilidade de Iluminação Natural”. Nesta área da tabela os dados apresentados referem-se à porcentagem da área do espaço em que determinados níveis de iluminação natural conseguem atingir o ambiente, segundo as métricas selecionadas para representar esta categoria (Tabela 3).

As seguintes métricas referentes à disponibilidade de luz natural foram selecionadas para compor as informações desta categoria:

(1) DA300lux (50%) -*Daylight Autonomy*/ sDA 300lux (50%) - *Spatial Daylight Autonomy*, (2) NDI (*Net Daylight Index*) e (3) UDI (100-2000).

(1) A métrica DA300lux (50%) une o conceito de *Daylight Autonomy* (DA), que é definido como a porcentagem de horas ocupadas em um ano em que a iluminância está acima de um determinado nível alvo, com os critérios sugeridos pela IES LM-83-12, que adota o valor de 300lux para espaços considerados *Daylit* e especifica que este nível deve acontecer para pelo menos 50% das horas de trabalho (8h às 18h) (REINHART; RAKHA; WEISSMAN, 2014; IESNA Daylight Metrics Committee, 2012).

A informação que aparece na tabela é em termos espaciais, isto é, a porcentagem da área do espaço que atinge os critérios estabelecidos acima. Este valor é obtido em um relatório resumo dos dados simulados, proveniente do Daysim.

Cabe ressaltar, que na tabela, os cenários com as células cinza serão avaliados considerando a metodologia da IES LM-83-12 e a proposta por esta tese.

A métrica utilizada pelo protocolo da IES LM-83-12 para verificar a disponibilidade de iluminação natural é a sDA 300lux (50%) -*Spatial Daylight Autonomy*. Esta métrica verifica se a iluminação em um ambiente é suficiente, considerando a porcentagem da área do piso em que um determinado nível alvo de iluminação (300lux) atinge uma porcentagem de horas (50% das horas, das 8h às 18h) ao longo do ano (IESNA Daylight Metrics Committee, 2012). O conceito da sDA 300lux (50%) e da métrica DA300lux (50%) é o mesmo. O que muda nestas duas métricas é a forma de calcular a autonomia da luz natural. A

métrica sDA³⁴ usa como padrão para o seu cálculo um sistema de sombreamento que deve ser fechado sempre que 2% dos pontos analisados receberem a radiação direta do Sol (IESNA Daylight Metrics Committee, 2012).

Na métrica DA não é um requisito obrigatório considerar a existência de um sistema de sombreamento para o cálculo da mesma. Este sistema de sombreamento pode ser considerado ou não, dependendo das características do projeto.

(2) Na sequência da tabela aparece a métrica NDI (*Net Daylight Index*), que foi proposta pela autora desta tese. Ela significa a porcentagem da área em que o nível de iluminação ocorre com uma escala de variação de 300lux a 3000lux (iluminância útil). A métrica NDI é muito parecida com a métrica UDI 300-3000 (*Useful Daylight Illuminance*). Porém diferentemente da UDI, esta métrica proposta é expressa em termos espaciais (porcentagem de área). O objetivo desta avaliação é verificar a área do espaço (expresso em porcentagem), em que a iluminação alcança níveis entre 300lux a 3000lux. É interessante analisar esta métrica, comparando-a com a sDA e DA, visto que a métrica NDI desconsidera as áreas em que o nível de iluminação, por ser muito elevado, tem probabilidade de gerar ofuscamento (*overlit area*). As métricas sDA_{300lux} (50%) e DA_{300lux} (50%) incluem em seu critério de avaliação as áreas com probabilidade de ofuscamento, visto que o nível alvo de iluminância é 300lux, porém não é estabelecido um limite máximo.

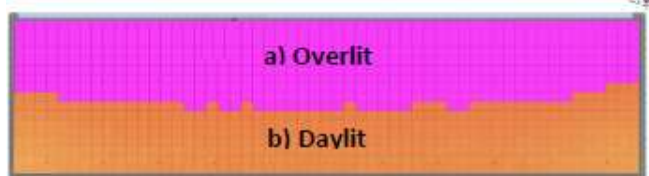
Os valores da métrica NDI (*Net Daylight Index*) foram obtidos calculando³⁵ a área considerada "overlit" da imagem *Daylight availability*, obtida através da simulação (Figura 26). Após o cálculo da área overlit, expresso em m², deve-se transformar este valor em porcentagem da área total do ambiente. Esta porcentagem deve ser subtraída do valor das métricas (DA_{300lux} (50%) / sDA 300lux (50%)).

Os cálculos das áreas *overlit* foram feitos através do programa autoCAD importando-se as imagens da métrica *Daylight Availability* para o programa. Em cima destas imagens foi desenhada a área "overlit" e através do polígono formado foi possível calcular a metragem das áreas.

³⁴ Segundo IESNA Daylight Metrics Committee (2012) os sistemas de sombreamento internos (persianas, cortinas, telas solares) são muito comuns e necessários para controlar o conforto visual dos usuários em edifícios comerciais. Portanto o comitê técnico achou razoável considerar que existe um sistema de sombreamento, mesmo que ele não esteja especificado no projeto original do edifício.

³⁵ Este cálculo foi feito no programa AutoCad através da importação da imagem da métrica Daylight Availability que foi usada como referência para desenhar e calcular a metragem da área overlit

Figura 26: Simulação da métrica Daylight Availability



Fonte: Autora da tese (software Diva).

(3) A próxima métrica da sequência da tabela é a UDI (100-2000), proposta por Nabil e Mardaljevic (2005). Ela é definida como uma porcentagem de horas de ocupação ao longo do ano em que a luz natural está compreendida entre as escalas de 100lux a 2000lux.

Esta métrica sofreu revisão da escala dos níveis de iluminação úteis, em anos posteriores a sua proposição. A escala de valores úteis de iluminação de 100 a 2000lux teve o seu limite máximo aumentado para 3000lux, considerando os resultados de pesquisas mais atualizadas (MARDALJEVIC, 2015).

Porém para o caso desta pesquisa, optou-se por usar a métrica UDI (100-2000), pois foi considerada adequada para atingir o objetivo pretendido pela tese.

O objetivo de selecionar a métrica UDI 100-2000 para compor a tabela síntese é a possibilidade de ampliar a análise da disponibilidade de luz natural no espaço, incluindo níveis de iluminação que estão abaixo de 300lux (valor alvo), mas que ainda são considerados úteis pelos usuários.

Nabil e Mardaljevic (2005) estabeleceram o limite da UDI em uma escala entre 100 a 2000lux baseado em uma pesquisa sobre as preferências e comportamentos dos usuários em edifícios de escritório iluminados naturalmente. O limite inferior dos valores considerados úteis é 100lux. Os níveis abaixo de 100lux são considerados muito baixos pelos usuários para a realização das tarefas de trabalho, em relação à percepção do ambiente luminoso.

O motivo por não ter escolhido a métrica UDI 100-3000 é que o relatório com o resumo das informações das simulações disponibilizadas pelo Daysim (um dos produtos de saída do Diva), não fornece a informação da porcentagem do espaço em que a iluminação natural atinge estes valores para um período de ocupação acima de 50% do horário de trabalho. Esta informação é fornecida apenas para a métrica UDI 100-2000 (.Figura 27)

CAPÍTULO 4 - MÉTODO PROPOSTO PARA A ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

Figura 27: Imagem do relatório do Daysim com a informação que UDI (100-2000) ocorre acima de 50% do período de ocupação em 85% da área do ambiente.

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA_{300lux}[50%]) **63% of floor area**
 Mean Daylight Factor **2.9%**
 Occupancy **3650 hours per year**

Daylight Factor (DF) Analysis: 35% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone does **not** qualify for LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1.

Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 58% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% is 63% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 79% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX > 5% is 20% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI_{<100-2000lux} larger than 50% is 85% for active occupant behavior.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

- Lighting Group 1 (occupancy_on/off): 7750.8 kWh

Fonte: Relatório software Daysim

Cabe ressaltar que através do programa Diva é possível calcular a UDI na escala de 100-300 e 300-3000. Porém o programa não disponibiliza esta informação em termos de porcentagem área, no relatório do Daysim e sim através da imagem da métrica relacionando os níveis de iluminação com a porcentagem do tempo ocorrência do nível estipulado. Caso a opção fosse usar a UDI em outras escalas seria necessário calcular as áreas no software AutoCAD, importando as imagens e redesenhando em cima das áreas desejadas, para o cálculo das mesmas.

Tabela 4: Área da tabela síntese- parte 1 -Dados sobre o conforto visual

Conforto			
4) "Overlit area" % da área com probabilidade de ofuscamento	5) Ofuscamento ponto 1 (crítico) : % de ocorrência de horas de ocupação)	6) Annual Sunlight Exposure (ASE) : % da área com ASE>250 horas	7) Visão Externa % de ocorrência (horas de ocupação)
51%	42%	—	100%
16%	0%	—	18%
Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12			
40%	1%	29%	56%

Fonte: Autora da tese

A próxima categoria a ser analisada na tabela síntese - parte 1 refere-se ao "Conforto Visual". As informações desta categoria são apresentadas conforme imagem Tabela 4.

A análise desta categoria deve ser realizada através de três aspectos referentes ao ofuscamento: *Overlit area*, Ofuscamento em ponto crítico (*Annual Glare*) e *Annual Sunlight Exposure* (ASE).

O item "overlit área" refere-se à porcentagem da área do ambiente em que há possibilidade

de ocorrer ofuscamento, devido aos altos níveis de iluminação internos.

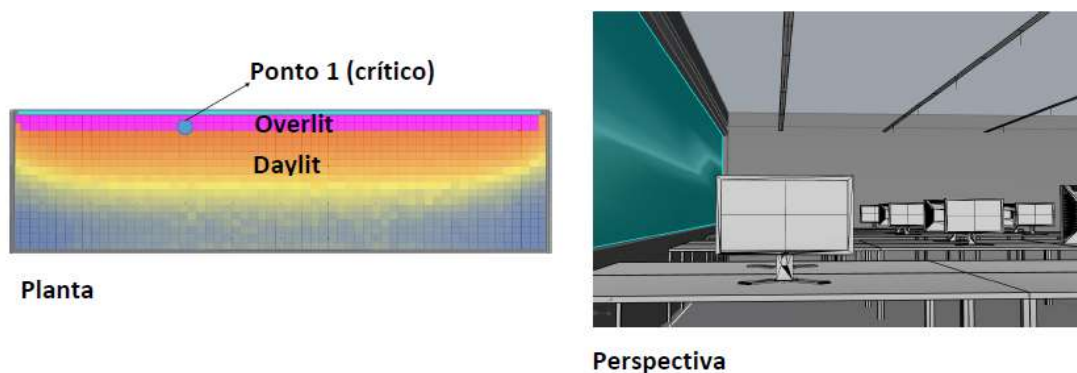
Considera-se uma área com probabilidade de ofuscamento (*overlit*), aquela em que os níveis de iluminação apresentam valores excessivos, para pelo menos 5% do período de trabalho ao longo do ano (Reinhart, 2010, 2011).

Um nível excessivo de iluminação pode ser considerado como aquele que supera em 10 vezes o nível de iluminação de referência, isto é, requerido para as atividades do ambiente. O critério para este valor máximo é proveniente do conceito definido pela métrica DA_{max} , proposta por Rogers, (2006).

O próximo item relacionado ao conforto visual refere-se ao ofuscamento em um ponto crítico do espaço. Este valor é expresso na porcentagem do tempo durante o período de ocupação do espaço (8h às 18h) ao longo do ano em que o ponto em análise apresenta a ocorrência de ofuscamento perturbador, com um valor de $DGP \geq 0,4$.

Este ponto crítico do espaço deve ser escolhido em uma área com probabilidade de ofuscamento, que pode ser verificado na imagem correspondente à métrica *Daylight Availability*. Os pontos críticos escolhidos para os modelos analisados ficam próximos à janela do ambiente, conforme a Figura 28.

Figura 28: Ponto crítico escolhido para a simulação do Annual Glare



Fonte: Autora da tese (software Diva e Rhinoceros).

Para a escolha deste ponto é necessário informar ao programa as coordenadas X, Y, Z, da posição de visão do usuário. Esta informação irá gerar uma perspectiva que o programa usa para calcular o *Annual Glare*, gráfico com a informação da condição de ofuscamento anual, em DGP (*Daylight Glare Probability*).

Este gráfico gerado irá compor informações das partes 2 e 3 da tabela síntese. A

informação relacionada a este item, da parte 1 da tabela síntese é disponibilizada no relatório gerado pelo Daysim (Figura 29). Este dado informa a frequência de ocorrência de ofuscamento perturbador para o ponto crítico analisado.

Este ponto crítico servirá como um indicador que mostra necessidade do usuário de acionar o dispositivo de sombreamento no ambiente, ou não, caso ele se encontre em condições favoráveis em relação ao conforto luminoso.

Sabe-se que para cada ponto do ambiente o cálculo do *Annual Glare* será diferente. Porém para simplificar o trabalho foi escolhido este ponto representativo, mais crítico em termos de ofuscamento. Se o usuário neste ponto estiver com um DGP que indica ofuscamento, ele irá acionar o dispositivo de sombreamento interno (persiana), diminuindo o nível de iluminação interno, mesmo que os usuários mais afastados da janela estiverem em conforto visual.

Reinhart (2014) em seu livro *Daylighting Handbook*, explica uma metodologia para realização de simulações no programa Diva em que ele escolhe seis pontos internos do modelo (*Reference Office*), um para cada estação de trabalho. Nestes pontos foram calculados o DGP utilizado para regular o acionamento das persianas. As persianas internas eram fechadas sempre que ocorria um DGP acima de 0,4 (ofuscamento perturbador), em qualquer uma das estações de trabalho.

Porém por limitações de tempo da pesquisa optou-se por calcular o DGP apenas em um ponto crítico, que serve como indicador para as condições de conforto visual interno.

A métrica *Annual Sunlight Exposure* (ASE), próximo item da sequência da tabela, deve ser simulada apenas para os cenários em que a avaliação segue a metodologia proposta pelo IESNA DAYLIGHT METRICS COMMITTEE (2012), segundo as recomendações da IES LM-83-12. Os cenários que serão avaliados segundo esta metodologia estão pintados em cinza, na tabela síntese.

Este protocolo sugere duas métricas de avaliação usadas, conjuntamente, para a análise do desempenho: a sDA (*Spatial Daylight Autonomy*) e a *Annual Sunlight Exposure* (ASE) (IESNA *Daylight Metrics Committee*, 2012).

A métrica ASE pode ser definida como uma porcentagem da área analisada que recebe mais de 1000lux, provenientes exclusivamente da radiação solar direta, por mais de 250 horas por ano (IESNA DAYLIGHT METRICS COMMITTEE, 2012).

Quanto maior o valor desta métrica, maior o potencial do usuário da edificação presenciar ofuscamento.

O último aspecto analisado na categoria Conforto Visual, refere-se a visão externa dos usuários. Este parâmetro foi selecionado para compor a tabela síntese devido às diversas evidências de aumento de bem-estar e saúde os usuários associados à visão das janelas (HESCHONG, 2003; ARIES, VEITCH; NEWSHAM ,2010; FERNANDES, 2016).

A informação correspondente a este item está relacionada com a frequência de ocorrência em que o dispositivo de sombreamento interno (persiana) fica aberto, possibilitando a visão externa durante o ano, no período de ocupação. Este dado é disponibilizado no relatório de simulação do Daysim (Figura 29).

Figura 29: Imagem do relatório Daysim com informação de ofuscamento e abertura do dispositivo de sombreamento interno (persiana)

Daysim Simulation Report

Daylit Area (DA _{300lux} [50%])	39% of floor area
Mean Daylight Factor	4.7%
Occupancy	3650 hours per year
Glare	1.6% of occupied hours
Shading Group 1 open	59% of occupied hours

Fonte: Relatório software Daysim.

A última categoria analisada na tabela síntese- parte 1 refere-se à energia do edifício, considerando o seu potencial de economia de energia devido à integração da iluminação natural com a artificial.

Os valores colocados neste item referem-se à porcentagem do consumo de energia do sistema de iluminação artificial.

Esta simulação do consumo de energia elétrica é um dos resultados que o software Diva disponibiliza, caso sejam fornecidos ao programa os *inputs* necessários para tal. O programa calcula o consumo de energia anual do sistema de iluminação artificial, considerando no máximo 4 controles elétricos, um para cada grupo de luminárias. Os resultados são disponibilizados por grupos de luminárias (circuitos), conforme a imagem do relatório do Diva (Figura 30).

Quando o sistema de controle funciona de forma integrada com a luz natural os circuitos mais próximos à janela consumirão menos energia, conforme pode ser verificado na Figura 30. O circuito 1 de iluminação (*Lighting Group 1*) consome 657,7 kWh/ano e o circuito mais distante da janela (*Lighting Group 4*) consome 1036,8 kWh/ano.

Figura 30: Dados de consumo de energia do sistema de iluminação artificial.

Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use is:

- Lighting Group 1 (occ_onoff_dimming): 657.7 kWh
- Lighting Group 2 (occ_onoff_dimming): 885.0 kWh
- Lighting Group 3 (occ_onoff_dimming): 965.6 kWh
- Lighting Group 4 (occ_onoff_dimming): 1036.8 kWh

Fonte: Relatório Daysim

Os dados colocados na tabela devem ser transformados em porcentagem de consumo de energia, considerando como valor de referência o consumo total do sistema sempre aceso, quando não há integração com o sistema de iluminação artificial. (Tabela 5).

As últimas colunas da tabela são as áreas destinadas ao resultado de aprovação ou reprovação do projeto.

Para a aprovação ou reprovação do projeto não é necessário alcançar os critérios de todas as métricas que compõe a tabela.

Tabela 5: Área da tabela Síntese- parte 1

Energia	Reprovado	Aprovado	LM-83-12	TESE
8) Iluminação artificial % de acionamento durante o ano				
100%	✗			
81%	✗			
33%	✗			✓

Fonte: Autora da tese

Deve-se verificar se os pré-requisitos mínimos foram alcançados.

Os pré-requisitos correspondem à critérios mínimos estabelecidos para aprovar o projeto

Caso não sejam cumpridos todos os pré-requisitos o projeto será reprovado.

Os pré-requisitos estabelecidos para a aprovação do projeto correspondem à alguns itens de avaliação da tabela – síntese:

- A disponibilidade de luz natural deve ser no mínimo 300lux durante 50% do período de ocupação para 55% da área do ambiente. Isto corresponde a um DA300 (50%) ou SDA 300 (50%). Esta métrica refere-se ao item (1) da tabela. A referência para estes valores aparece no protocolo IES- LM-83-12 (IESNA Daylight Metrics Committee, 2012)
- O ofuscamento máximo permitido deve estar entre o intervalo de 0<11%. Esta métrica refere-se ao item (5) da tabela. A referência para este valor foi sugerida

por Reinhart e Wienold (2011), na tabela resumo de resultados criada por estes pesquisadores chamada "daylighting dashboard".

- A janela deve possibilitar a visão externa por pelo menos $\geq 50\%$ do tempo do período de ocupação ao longo do ano. Esta métrica refere-se ao item (7) da tabela. Valor sugerido por Reinhart e Wienold (2011)
- Caso o critério de disponibilidade de luz natural (item 1 da tabela) não seja cumprido para 55% da área do ambiente, deve-se verificar se os valores estão entre o intervalo $40\% \leq 55\%$ da área do ambiente. Neste caso o projeto poderá ser aprovado se a UDI (100-2000) ocorrer para uma área $\geq 80\%$ do espaço. Este pré-requisito foi acrescentado para o caso dos projetos que estejam perto do limite estabelecido, porém não conseguem o valor alvo da iluminância requisitada. Se as iluminâncias úteis (100-2000) forem disponíveis para a maior parte da área do ambiente (80%) este espaço consegue atingir o critério mínimo para ser aprovado.


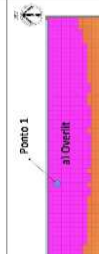

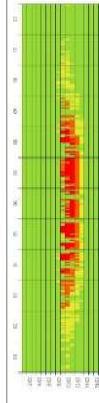
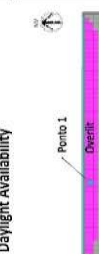


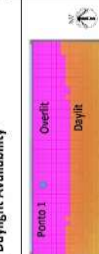

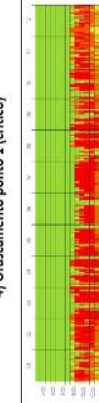



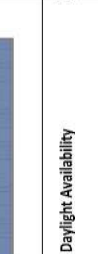


A criação do pré-requisitos de avaliação, tem como objetivo facilitar a compreensão do projeto, de modo equilibrado, através da verificação dos aspectos de disponibilidade de luz natural, associados ao conforto visual. Os pré-requisitos funcionam como um critério de corte, que indicam que o projeto deve ser revisto, caso não atinja o desempenho luminoso mínimo estabelecido. Esta é a primeira fase da avaliação, pois define se o projeto será aprovado, caso sejam cumpridos os objetivos estabelecidos, ou reprovado caso isto não aconteça. A aprovação do projeto não significa que ele está excelente em todos os aspectos, mas sim que atingiu as condições mínimas de desempenho estabelecidas. Após esta etapa inicial deve-se passar para a etapa 2, que atribui pontuações para todas as métricas que compõe a tabela síntese. A etapa 2 será detalhada no item (4.3).

4.1.2 Tabela síntese – parte 2

A parte 2 da tabela síntese é composta por informações visuais/ gráficas. Nela aparecem imagens da distribuição da luz nas métricas (1) *Daylight Availability*, (2) UDI 100-2000 (provenientes das simulações), (3) imagem resumo (elaborada pela autora da tese) e um gráfico com informações sobre o ofuscamento em um ponto crítico do ambiente, com os dados de DPG (*Daylight Glare Probability*) ao longo do ano (Tabela 6).

A métrica *Daylight Availability* foi uma das métricas selecionadas para representar o item disponibilidade de luz natural. Ela aparece na primeira coluna da área destinada à avaliação do item Disponibilidade de Luz Natural (Tabela 7). Esta métrica tem o objetivo de compilar as informações das métricas UDI e DA em uma única imagem (REINHART; WIENOLD, 2011).

Tabela 6: Tabela síntese - Parte 2 – visual/gráfica

Profun- didade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural	Conforto
	Cenários	 <p>Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento</p> <p>2) UDI (100-2000 LUX)= 56 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas</p>	<p>Ofuscamento intolerável DGP2 > .45</p> <p>Ofuscamento perturbador .45 > DGP2 > .4</p> <p>Ofuscamento perceptível .4 > DGP2 > .35</p> <p>Ofuscamento imperceptível .DGP > .35</p>
	1N_V1_P1_S	<p>1) Daylight Availability</p>  <p>2) UDI (100-2000 LUX)= 11% do espaço acima de 50% das horas ocupadas</p>	<p>3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit</p>  <p>4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)</p> 
Vidro 1 TL=88%	Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acessa		
8m			
Vidro 1 TL=88%	2N_V1_P1_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	<p>1) Daylight Availability</p>  <p>2) UDI (100-2000 LUX)= 8% do espaço acima de 50% das horas ocupadas</p>	<p>3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit</p>  <p>4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)</p> 
Vidro 1 TL=88%	Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada		
8m			
	3N_V1_P2_S	<p>1) Daylight Availability</p>  <p>2) UDI (100-2000 LUX)= 74% do espaço acima de 50% das horas ocupadas</p>	<p>3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit</p>  <p>4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)</p> 
Vidro 1 TL=88%	Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acessa		
12m			
Vidro 1 TL=88%	4N_V1_P2_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	<p>1) Daylight Availability</p>  <p>2) UDI (100-2000 LUX)= 8% do espaço acima de 50% das horas ocupadas</p>	<p>3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit</p>  <p>4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)</p> 
Vidro 1 TL=88%	Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada		
12m			
	5N_V1_P2_I_EI	<p>1) Daylight Availability</p>  <p>2) UDI (100-2000 LUX)= 96% do espaço acima de 50% das horas ocupadas</p>	<p>3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit</p>  <p>4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)</p> 
Vidro 1 TL=88%	Face Norte com sombreamento interno (persiana) e externo- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada		
12m			

Fonte: Autora da tese

CAPÍTULO 4 - MÉTODO PROPOSTO PARA A ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

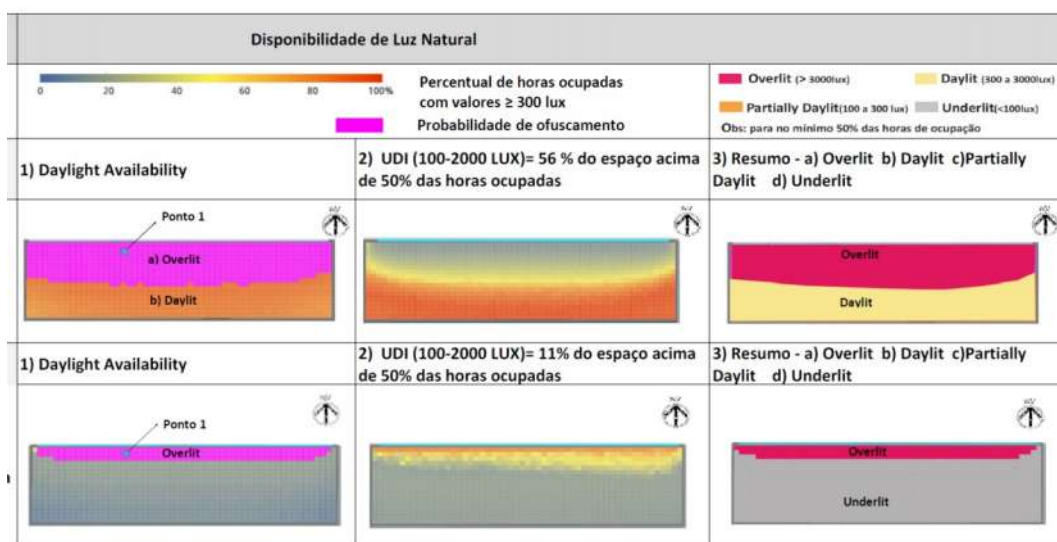
Através da imagem formada é possível identificar a área com probabilidade de ofuscamento (overlit) da área que possui níveis de iluminância úteis (*daylit*). A área com probabilidade de ofuscamento segue a proposição de Rogers (2006), que considera que áreas com nível de iluminância 10 vezes acima da requerida para o ambiente são áreas com potencial de ofuscamento.

No caso desta tese, o nível de iluminância estipulado para os espaços naturalmente iluminados é 300lux. Os níveis acima de 3000lux, portanto são os que conformam a área com probabilidade de ofuscamento (overlit) do espaço.

Na sequência da tabela aparece a imagem da métrica UDI (100-2000). Tanto esta métrica como a métrica *Daylight Availability* devem ser analisadas considerando a legenda com o percentual de horas ocupadas com valores acima de 300lux. A cor vermelha significa probabilidade de ocorrer 300lux em 100% das horas ocupadas. Este percentual vai reduzindo até 50% das horas ocupadas, representado pela cor amarela. A cor azul acinzentada significa valores abaixo de 50% do tempo (Tabela 7).

A última imagem usada para representar a categoria " Disponibilidade de Luz Natural" é chamada de imagem resumo. Esta imagem foi elaborada pela autora desta tese, considerando a ideia de dividir o ambiente em áreas consideradas *Overlit*, *Daylit*, *Partially Daylit* e *Underlit*, encontrados na literatura (REINHART, 2014; REINHART; WEISSMAN, 2012; REINHART; RAKHA; WEISSMAN, 2014).

Tabela 7: Área da tabela síntese- parte 2 com imagens da disponibilidade de luz natural



Fonte: Autora da tese

Segundo Reinhart (2014, p.23, tradução nossa), "um espaço considerado *Daylit* é aquele iluminado principalmente através da luz natural e combina alta satisfação dos ocupantes com o ambiente visual e térmico, consumindo pouca energia para a iluminação, aquecimento e resfriamento".

Para elaborar esta imagem primeiramente foi definido o critério com faixas de níveis de iluminação para cada um dos conceitos:

- *Overlit* (>3000lux) área do ambiente com probabilidade de ocorrer ofuscamento. A iluminância máxima estabelecida para a área overlit é 3000lux, pois segundo Rogers (2006), uma iluminância 10 vezes acima do nível requerido para o ambiente tem chances de causar ofuscamento.
- *Daylit* (300lux a 3000lux): área do espaço a qual o nível de iluminação é igual ou acima do valor de referência (300lux). Para ser considerado *daylit* o ambiente deve ter DA (*Daylight Autonomy*) com os valores de iluminância mínimo de 300lux, para pelo menos 50% do período de ocupação (8hàs18h) ao longo do ano. Esta referência foi retirada da IES LM-83-12 (IESNA Daylight Metrics Committee, 2012).
- *Partially Daylit* (100lux a 300lux): área do espaço na qual há a necessidade de complementar o nível de iluminação com a luz artificial. A escala de valores de iluminância definidas entre os valores de 100lux a 300lux foi estabelecida segundo Mardaljevic (2015). Este pesquisador estabelece o conceito de UDI-suplementar, com a faixa de valores de iluminância entre 100lux a 300lux. Estes valores são considerados úteis, mas que necessitam complementação do sistema artificial.
- *Underlit* (<100lux): área do espaço a qual a contribuição da luz natural é mínima ou nula. É necessário luz artificial sempre acessa nesta área. Os valores abaixo de 100lux não são considerados úteis para as tarefas de escritório, segundo Mardaljevic (2015).

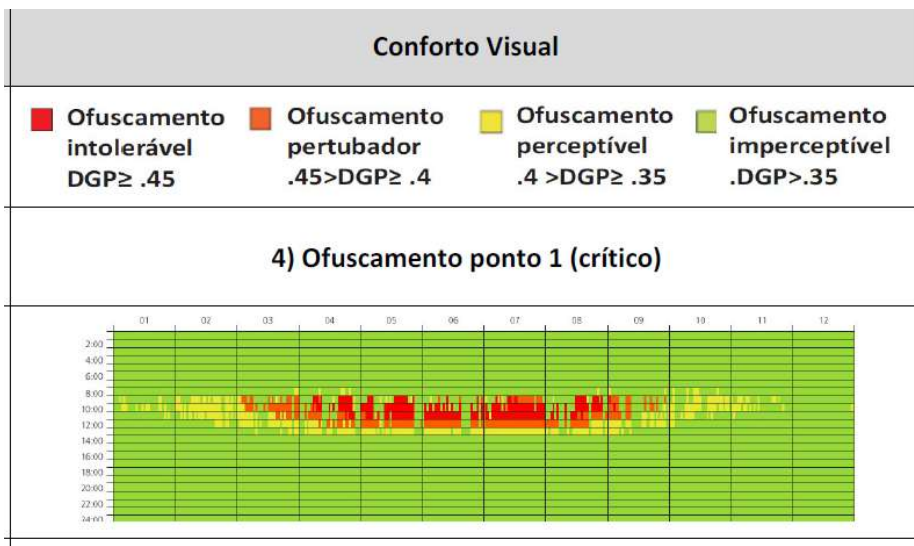
Todos os valores estabelecidos para cada conceito devem ser considerados para pelo menos 50% do período de ocupação.

A imagem resumo foi feita em um programa de edição de imagem, Adobe Photoshop³⁶, considerando as informações das métricas *Daylight Availability* e UDI 100-2000, que foram usadas como referência para definir os limites das faixas: *Overlit*, *Daylit*, *Partially Daylit* e *Underlit*.

³⁶ Disponível em: < <https://www.adobe.com/br/>>

Na sequência da tabela a próxima categoria é a de Conforto visual. Para representar este aspecto da iluminação foi selecionado o gráfico *Annual Glare*, calculado para um ponto crítico do ambiente (Tabela 8).

Tabela 8: Área da tabela síntese- parte 2 com gráfico de ofuscamento (ponto crítico do ambiente)



Fonte: Autora da tese.

4.1.3 Tabela síntese – parte 3

Na parte 3 da tabela aparece as mesmas informações visuais/ gráficas descritas na parte 2 e um gráfico resumo do desempenho de todos os cenários, inclusive aqueles apresentados nas partes 1 e 2 da tabela -síntese Tabela 9).

Os cenários que são apresentados parte 3 da tabela são os consideram o acionamento conceitual e que por este motivo foram usados para fazer a análise de desempenho segundo a IES-LM-83-12. O acionamento conceitual considera que a persiana será fechada sempre que incidir a radiação solar direta e aberta quando não há mais esta incidência. Este tipo de acionamento da proteção solar interna segue o protocolo da IES- LM-83-12 para o cálculo da sDA.

Tabela 9: Tabela síntese - Parte 3 – visual/ gráfica

Viário	Problema	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural	Conforto Visual
		Cenários Face Norte	<p>Percentual de horas ocupadas com valores > 300 lux</p> <p>Probabilidade de ofuscamento</p> <p>2) UDI (100-2000 LUX)= 83% do espaço acima de 50% das horas ocupadas</p>	<p>Ofuscamento intolerável DGP2_45</p> <p>Ofuscamento perturbador .45>DGP2_4</p> <p>Ofuscamento perceptível .4>DGP2_35</p> <p>Ofuscamento imperceptível .DGP>35</p>
Vidro 1	8m	2N_VI_P1_ac	<p>1) Daylight Availability</p> <p>2) UDI (100-2000 LUX)= 83% do espaço acima de 50% das horas ocupadas</p>	<p>4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)</p>
		Gráfico comparativo entre cenários	<p>1N_VI_P1_5</p>	
		Face Norte/8m	<p>Legenda</p> <p>a) 100-300lux (50%) (% da área)</p> <p>b) "Daylit area" (% da área)</p> <p>c) UDI(100-2000lux acima de 50% horas (% da área)</p> <p>d) "Overlit area" (% da área)</p> <p>e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência)</p> <p>f) Vista Externa % de ocorrência (horas)</p> <p>Atende Não Atende</p>	
Vidro 1	12m	4N_VI_P2_ac	<p>1) Daylight Availability</p> <p>2) UDI (100-2000 LUX)= 84% do espaço acima de 50% das horas ocupadas</p>	<p>4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)</p>
		Face Norte/12m	<p>3N_VI_P2_5</p>	
Vidro 1	12m	5N_VI_P2_EI_ac	<p>1) Daylight Availability</p> <p>2) UDI (100-2000 LUX)= 89% do espaço acima de 50% das horas ocupadas</p>	<p>4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)</p>
		Gráfico comparativo entre cenários	<p>4N_VI_P2_am</p>	
		Face Norte/12m	<p>Legenda</p> <p>a) 100-300lux (50%) (% da área)</p> <p>b) "Daylit area" (% da área)</p> <p>c) UDI(100-2000lux acima de 50% horas (% da área)</p> <p>d) "Overlit area" (% da área)</p> <p>e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência)</p> <p>f) Vista Externa % de ocorrência (horas)</p> <p>Atende Não Atende</p>	

Fonte: Autora da tese

O resumo de desempenho de cada cenário foi sintetizado utilizando um gráfico do tipo diagrama de área polar. Este gráfico possui os setores de ângulos iguais, mas diferem em relação à sua extensão em relação ao centro do círculo. Quanto mais distante o raio em relação ao centro, maior é o seu valor. Os valores irão variar de 0% a 100% (Tabela 10).

Na legenda aparecem os critérios de avaliação, com a indicação de cores para demonstrar se estes critérios foram alcançados. O detalhamento da definição dos critérios aparece no item 4.2. A cor verde significa que o critério foi alcançado, a cor amarela indica que o desempenho está próximo de ser alcançado e a cor vermelha indica o não atendimento do critério (Tabela 10).

Tabela 10: Área da tabela síntese- parte 3 com gráfico resumo de desempenho

Gráfico comparativo entre cenários		1N_V1_P1_S
Face Norte/8m	Legenda	
<p>a) sDA 300lux (50%) (% da área)</p> <p>b) "Daylit area" (% da área)</p> <p>c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área)</p> <p>d) "Overlit area" (% da área)</p> <p>e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência)</p> <p>f) Visão Externa % de ocorrência (horas)</p> <p>■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende</p>		

Fonte: Autora da tese

Para resumir a elaboração da tabela síntese, os seguintes passos foram executados:

- Elaboração do modelo de referência e a definição dos parâmetros de análise. Estes diferentes parâmetros avaliados de forma conjunta, constituem os cenários de análise. No caso desta pesquisa os cenários estão descritos no capítulo 5.
- Definição das métricas de iluminação natural para compor a tabela considerando as seguintes categorias de análise: disponibilidade de iluminação natural, conforto visual e energia.
- Simulação anual para obter os dados necessários para o preenchimento da tabela.
- Definição dos critérios para cada uma das métricas, com o objetivo de determinar de forma quantitativa o alcance dos objetivos
- Definição de pré-requisitos para a aprovação do projeto
- Preenchimento da tabela

- Análise dos resultados

4.2 Critérios de desempenho

Para analisar as condições de iluminação natural de um determinado projeto/ edificação em relação ao desempenho luminoso é necessário indicar o critério determinado para fazer esta avaliação.

Métricas de iluminação natural foram selecionadas de forma a facilitar a quantificação e classificação dos diferentes cenários avaliados. Para cada métrica selecionada foi definido um critério de avaliação, isto é, um valor de referência que deve ser usado para verificar se o objetivo em relação ao desempenho foi alcançado.

As categorias selecionadas para avaliação foram definidas segundo a recomendações de Reinhart (2014), que defende que um bom projeto de iluminação natural deve considerar os seguintes requisitos: disponibilidade de luz, conforto visual e energia.

Os critérios de avaliação foram definidos segundo recomendações de diversas pesquisas da bibliografia consultada. Estes critérios foram apresentados nos itens 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 , com explicações sobre as métricas e critérios usados para a elaboração da tabela síntese de resultados.

Um dos critérios quantitativos de desempenho da iluminação natural e artificial é a indicação do nível de iluminância que deve ser adotado para a realização de uma determinada tarefa.

A norma brasileira de iluminação artificial NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013, p.19) indica o valor de 500 lux para as atividades típicas de escritório: "escrever, teclar, ler, processar dados".

A norma de iluminação natural brasileira NBR 15215-1, 2, 3 e 4, não determina os níveis de iluminação natural que devem ser atendidos para as diferentes atividades dos edifícios (ABNT, 2005a; 2005b; 2005c e 2005d).

Esta pesquisa considerou o nível de 300lux, como o valor de referência para edifícios de escritório naturalmente iluminados, respaldado pela indicação da norma alemã DIN 5034. Esta norma recomenda que, para iluminação natural, sejam utilizados 60% do valor estabelecido para a iluminação artificial (DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG³⁷, 1979 apud ALUCCI, 2007). Este critério é justificado devido às diferentes características do

³⁷ DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. DIN 5034 – Daylight in Interiors, Part I, Part II, Berlin, 1979

espectro luminoso da luz natural e da artificial.

Outra referência usada para a definição do nível de 300lux para a iluminação natural dos escritórios é o protocolo IES LM-83-12, proposto pelo Comitê de iluminação da IES³⁸. Este protocolo define que ambientes de escritório para serem considerados bem iluminados devem ter no mínimo 300lux, para pelo menos 50% do período de ocupação do edifício, com estes valores uma área de pelo menos 55% do espaço (IESNA Daylight Metrics Committee). Este valor que foi definido como base para o protocolo da IES LM-83-12, baseou-se em pesquisas realizadas por Heschong Mahone Group (2012). A pesquisa realizada em 61 edifícios de escritório indica o valor de 300lux, como a melhor correlação entre as preferências dos ocupantes para espaços considerados com luz natural suficiente, entre outras opções apresentadas.

Em relação à iluminação artificial, não foi definido um critério de avaliação que tem como base um valor referente à economia do sistema de iluminação artificial devido à economia de energia resultante da integração da luz natural com a artificial. O potencial de redução do sistema artificial em virtude da integração com a luz natural varia muito de acordo com as características dos ambientes, tipos de controle elétrico e luminosidade do céu. Por este motivo, a avaliação da categoria energia não será feita com um critério base, mas sim de forma comparativa entre os diferentes cenários.

Sabe-se que a economia de energia do sistema de iluminação artificial depende da disponibilidade de luz natural. Portanto a avaliação da categoria energia está intimamente relacionada com a categoria de disponibilidade de luz natural.

O Quadro 2 apresenta os critérios de avaliação selecionados com os valores alvo (*benchmark*) a serem alcançados pelas métricas para um bom desempenho da iluminação natural.

Cabe ressaltar que para a avaliação da primeira etapa do projeto, que considera a aprovação ou reprovação do mesmo, apenas os critérios 1 e 5 são considerados. O critério 3 é utilizado também em alguns casos. Os critérios das outras métricas, que não entram na avaliação da primeira etapa, são considerados na pontuação da próxima etapa de avaliação, que visa a classificação e ordenação das alternativas.

³⁸ *Illuminating Engineering Society*

Quadro 2: Métricas usadas na tabela síntese e os critérios de avaliação

Critérios de avaliação da métricas

1	<p>sDA 300lux (50%) / DA 300lux (50%) : % do espaço em que a autonomia da iluminação alcança o limite mínimo de iluminância estabelecido de 300lux, para no mínimo 50% das horas de ocupação. Deve ser \geq (maior ou igual a).....</p> <p>Fonte: O critério foi definido de acordo com a IES LM-83-12</p>	55%	da área
2	<p>NDI (sDA 300lux (50%)-overlit) : % do espaço em que a autonomia da iluminação alcança o limite mínimo de iluminância estabelecido de 300lux, para no mínimo 50% das horas de ocupação, porém desconsidera a área considerada overlit. Deve ser \geq (maior ou igual a).....</p>	45%	da área
3	<p>UDI (100_2000lux): % do espaço em que iluminância alcança níveis entre 100 a 2000lux (UDI útil), para no mínimo 50% das horas de ocupação, considerando o comportamento ativo dos usuários. Deve ser \geq (maior ou igual a).....</p> <p>Fonte: O critério foi definido de acordo com Peterson (2015)</p>	60%	da área
4	<p>Overlite area: % do espaço com probabilidade de ofuscamento durante as horas de ocupação. Um excesso de oferta de iluminância será considerada o valor de 3000 lux (10 vezes a iluminância alvo), de acordo com a definição de DAm_{ax}, proposto por Rogers, 2006. Deve ser \leq (menor ou igual a)</p> <p>Fonte: O critério fo definido segundo Reinhart & Wielnold, 2011</p>	10%	da área
5	<p>Ofuscamento: % do período de ocupação o qual o ocupante vivencia um ofuscamento perturbador ou intolerável. O ofuscamento foi calculado para um usuário sentado em um ponto crítico do ambiente, perto da janela. Deve ser $<$ (abaixo de)</p> <p>Fonte: O critério fo definido segundo Reinhart & Wielnold, 2011</p>	6%	do período de ocupação
6	<p>Annual Sunlight Exposure - ASE (Exposição à radiação solar anual): % de uma área analisada que excede um nível de iluminação específico considerando apenas a radiação direta do sol (1000lux), acima de 250 horas por ano. Esta métrica é calculada considerando as persianas abertas. Deve ser $<$ (abaixo de).....</p> <p>Fonte: O critério foi definido de acordo com a IES LM-83-12</p>	7%	da área
7	<p>Visão externa: % do tempo de ocupação o qual o usuário tem a possibilidade de olhar para fora. Deve ser \geq (superior a).....</p> <p>Fonte: O critério fo definido segundo Reinhart & Wielnold, 2011</p>	50%	do período de ocupação

Fonte: Autora da tese

4.3 Etapa de Classificação e ordenação das alternativas

Após a avaliação inicial, são atribuídos pontos para as métricas que compõe a tabela. Desta forma é possível atribuir uma pontuação final para cada cenário. Esta pontuação final é resultado das notas parciais em cada métrica que compõe a tabela síntese e permite a ordenação dos cenários em ordem decrescente de pontuação. Esta ordenação dos cenários, segundo as notas finais dos mesmos, facilita a escolha das melhores opções de projeto, considerando os critérios previamente estabelecidos.

É importante ressaltar que este é um procedimento de suporte ao projeto, que através da ordenação das propostas proporciona, de modo comparativo e através das pontuações individuais de cada métrica, uma maior facilidade de entendimento dos pontos fortes e fracos de cada projeto. A melhor alternativa entre vários cenários não significa que é a melhor alternativa existente, isto é, que pode ser considerado "o melhor" projeto. Isto depende das expectativas de desempenho buscado pelos interessados nas decisões.

Segundo Lima (2016, p. 63), nos procedimentos de suporte ao projeto

"(...)buscam-se "soluções de compromisso", de forma que, quando não é possível que todos os critérios sejam atendidos, são identificadas combinações que "equilibrem" o desempenho, tal como a escolha de uma alternativa que possua um desempenho térmico ruim, mas cujo desempenho energético final seja bom e cujo custo-benefício seja de acordo com os propostos pelos clientes, por exemplo".

O desenvolvimento da pesquisa levou a definição de indicadores finais de projeto, com um maior detalhamento dos critérios (Tabela 11). Para cada critério foram definidas escalas de valores e atribuída uma determinada pontuação, de acordo com um melhor ou pior desempenho. Os valores base para a definição dos valores considerados aceitáveis para cada métrica foram definidos no Quadro 2

Para exemplificar o raciocínio de como foi elaborada esta pontuação por faixas de valores, segue o exemplo da métrica sDA300lux (50%). Para a aprovação do projeto deve-se considerar o critério base para o projeto, que determina uma área acima de 55% do ambiente que deve alcançar os valores 300lux por 50% do período de ocupação, segundo a recomendação da LM-83-12.

Caso o projeto atinja uma área inferior à 55% do ambiente é necessário verificar se esta área está compreendida entre os valores $40\% \leq 55\%$ de área. Apenas neste caso, se o projeto tiver uma UDI (100-200) com valores acima de 80%, ele será aprovado. Todos os projetos com área inferior à 55% que não se enquadram na exceção descrita acima serão reprovados

CAPÍTULO 4 - MÉTODO PROPOSTO PARA A ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

Portanto o critério base é a faixa $55\% \leq 75\%$ com pontuação 2. A faixa de $40\% \leq 55\%$ também pontua, mas com um valor menor (1 ponto), visto que está quase alcançando o valor de referência. Porém tudo que está abaixo de 40% da área a pontuação é 0 ($20\% \leq 40\%$) ou -1 ($0\% \leq 20\%$). Se a área atinge $75\% \leq 100\%$ o valor pontuado é 3. Esta escala de valores entre $75\% \leq 100\%$ foi estabelecido considerando a pesquisa realizada por Heschong Mahone Group (2012), que aponta $\geq 75\%$ como o valor preferido pelos usuários na caracterização de espaços bem iluminados.

Segue abaixo a tabela com a pontuação detalhada por faixa de atendimento em cada critério estabelecido.

Tabela 11: Critérios de desempenho com atribuição de pontos por faixa de valores

Critérios para a pontuação da classificação do desempenho luminoso			
1) sDA 300lux (50%)	Nota		2) NET= (sDA 300lux (50%)- overlit)
			Nota
0% ≤ 20% da área	-1		0 < 44% da área
20% ≤ 40% da área	0		44% ≤ 60%
40% ≤ 55% da área	1		60% ≤ 80%
55% ≤ 75% da área	2		80% ≤ 100
75% ≤ 100 da área	3		
3) UDI <100-2000lux>	Nota		d) "Overlit area"
			Nota
0 < 60% da área	0		0 < 11% da área
60% ≤ 70%	1		11% ≤ 100
70% ≤ 80%	2		
80% ≤ 100	3		Obs: se a área de ofuscamento for $\geq 11\%$, porém a análise de ofuscamento do ponto crítico estiver no intervalo de 0 < 6%, a nota neste quesito " Overlit area" sobe para 1 ponto
e) Ofuscamento	Nota		f) Visão externa
			Nota
0 < 6% do tempo	3		0 < 50% do tempo
6% ≤ 10%	2		50% ≤ 75%
10% ≤ 15%	1		75% ≤ 100%
15% ≤ 20%	0		
≥ 20%	-1		

Fonte: Autora da tese

Após definidos estes critérios deve-se elaborar uma planilha eletrônica, na qual será colocada a pontuação para cada métrica, considerando os critérios de desempenho definidos na Tabela 12.

CAPÍTULO 4 - MÉTODO PROPOSTO PARA A ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

Tabela 12: Exemplo de preenchimento da tabela com a pontuação dos cenários

Escritório Face Norte								Reprovado	Aprovado
Cenários	1) sDA 300lux (50%)	b) NDI	c) UDI <100-2000lux>	d) "Overlit area"	e) Ofuscamento	f) Visão externa	Pontuação final		
1N_V1_P1_S	3 100%	1 49%	0 56%	0 51%	-1 42%	2 100%	5	R	
2N_V1_P1_I_am	-1 5%	0 0%	0 11%	1 16%	3 0%	0 18%	3	R	
2N_V1_P1_I_Ac	3 92%	1 52%	2 83%	1 40%	3 1%	1 56%	11	A	
3N_V1_P2_S	3 89%	1 60%	2 74%	0 29%	-1 41%	2 100%	7	R	
4N_V1_P2_I_am	-1 5%	0 0%	0 8%	0 12%	1 10%	0 19%	0	R	
4N_V1_P2_I_ac	1 46%	0 23%	2 84%	1 23%	3 0%	1 60%	8	A	
5N_V1_P2_I_EI_am	2 61%	1 44%	2 96%	1 17%	3 0%	2 80%	11	A	

Atende
Não Atende
Atenção

Fonte: Autora da tese

As linhas cinzas da tabela são reservadas para colocação dos pontos relativos à cada métrica. Na penúltima coluna desta tabela aparece a pontuação final do cenário analisado, resultado da soma dos valores parciais ao longo da tabela.

A linha logo abaixo da cinza é reservada para a colocação dos resultados finais de cada cenário que foram preenchidos na tabela síntese - parte I.

Para visualizar se estes resultados alcançam o critério mínimo, estabelecido para cada item da tabela, deve-se consultar a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** que apresenta os critérios de avaliação das métricas. Quando os valores dos resultados cumprirem os critérios apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, este campo deve ser preenchido com a cor verde, caso contrário, com a cor vermelha. Se os valores estão próximos de alcançar o valor estabelecido pelo critério, mas mesmo assim não alcançam (10% de variação) deve preencher o campo com a cor amarela.

Na última coluna da tabela aparece o campo para marcar a aprovação ou reprovação do cenário. Foi utilizada a cor verde para mostrar que o cenário foi aprovado e a cor vermelha que o mesmo foi reprovado, facilitando desta forma a visualização das classificações

definidas.

A aprovação ou reprovação dos cenários deve ser realizada após a certificação dos pré-requisitos do projeto, abordados no final do item 4.1.1.

Através da visualização das cores na tabela e da pontuação de cada cenário é possível comparar os resultados entre si (apêndice B).

Esta visualização também permite identificar os pontos fortes e fracos de cada cenário em relação à categoria de avaliação (disponibilidade luz, conforto visual). A categoria energia terá sua avaliação a parte, pois não foi estabelecido um critério de avaliação para esta categoria, conforme explicado no item 4.2.

O procedimento final da etapa 2 é separar os cenários aprovados dos reprovados e ordenar os cenários de acordo com as pontuações finais obtidas, do melhor caso (1º) ao pior caso (87º).

Esta classificação e ordenação dos cenários facilita as conclusões e análise dos dados. Porém vale ressaltar que mesmo após esta classificação final, o cenário selecionado devido a sua pontuação deve ser avaliado individualmente, para verificar se o desempenho almejado atende às expectativas de projeto.

4.4 Método para a verificação da profundidade- limite da zona passiva de iluminação para os modelos avaliados

Zona passiva de iluminação é a área do ambiente em que a luz natural consegue suprir as necessidades do mesmo, com um determinado nível considerado adequado, de acordo com as atividades desempenhadas no ambiente.

Nesta tese o conceito de zona passiva da iluminação está vinculado ao conceito da métrica DA300lux (50%) (*Daylight Autonomy*), isto é, será considerada a zona passiva a área que alcança níveis iguais ou superiores a 300lux, durante 50% do tempo.

Para verificar a profundidade de penetração da luz natural nos modelos avaliados e definir a profundidade-limite do alcance da luz definiu-se a seguinte metodologia:

- 1). Utilizar a imagem resumo (elaborada pela autora da tese), em que aparece preenchida na cor amarela uma zona com níveis de iluminação que variam de 300lux até 3000lux. Estes níveis ocorrem nesta área para pelo menos 50% do período de ocupação ao longo do ano. Para fazer a estimativa da profundidade-limite deve-se utilizar a imagem resumo dos modelos que foram simulados com o sistema de acionamento conceitual, isto é, que fecham a persiana sempre que ocorre ofuscamento em um ponto crítico do ambiente e

abre novamente quando cessa esta situação. Optou-se por usar uma simulação que ocorra um certo controle do ofuscamento. Caso fosse considerada a imagem resumo da simulação com a métrica DA_{300lux} (50%), sem nenhum acionamento do sistema de proteção interno, os valores de disponibilidade de luz ao longo do ano seriam maiores, mas não seria considerada uma situação que é muito comum em edifícios de escritório, que é a regulação do conforto visual dos usuários através de dispositivos internos. Optou-se, por este motivo, usar a imagem resumo resultante das simulações com o sistema de acionamento conceitual, porque é uma situação intermediária que mostra o potencial intrínseco da iluminação natural, sem considerar o melhor caso em relação à disponibilidade de luz com persianas sempre abertas, nem o pior caso, que é o acionamento manual.

2). Importar a imagem resumo para o software AutoCAD, ajustar a imagem na escala correta e medir a distância da profundidade da fachada até a zona Daylit, (área amarela) com níveis de iluminação de 300lux a 3000lux (Figura 31).

Figura 31: Imagem resumo com a distância da profundidade do alcance a luz natural (área Daylit (níveis 300 a 3000lux) até a fachada.



Fonte: Autora da tese

3). Seguir a metodologia proposta por Albuquerque e Amorim (2012), para encontrar a relação (P) de profundidade, com o objetivo de usar este valor no processamento dos dados. A profundidade medida da fachada até a zona *daylit* é aquela alcançada pela luz natural (PLN). A profundidade (PLN) é definida como a distância de penetração da luz natural e, para esta pesquisa, será considerada a área com níveis maiores ou iguais a 300lux, para pelo menos 50% do período de ocupação. Para calcular a relação de profundidade (P) deve-se fazer a relação entre a profundidade de luz natural alcançada (PLN), com a medida da altura (H) da verga da janela, que no caso dos modelos avaliados é 2,64m. Desta forma, a relação de profundidade (P) é definida conforme a equação abaixo:

$$P = \text{PLN} / (H) \dots \dots \dots \text{Equação (1)}$$

CAPÍTULO 4 - MÉTODO PROPOSTO PARA A ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

P = relação da profundidade da luz natural com a altura da verga da janela (adimensional);

PLN= profundidade alcançada no ambiente pela luz natural com a iluminância de 300 lux, para pelo menos 50% do período de ocupação) e

H = altura da verga da janela (2,64 m em todos os modelos avaliados).

Após encontrar os resultados da relação proporcional serão elaborados gráficos para comparar a relação (P), considerando as seguintes variações nos modelos: profundidade (8m, 12m, 21m), transmissão luminosa (24%, 54% e 88%) e orientação -Norte (N), Sul (S) e Oeste (O).

5 ESTUDOS ANALÍTICOS

5.1 Modelos e Cenários da simulação

Considerando que esta tese tem por objetivo avaliar a iluminação natural foram definidos cenários para verificar a influência de algumas variáveis neste quesito, no interior dos modelos geométricos.

As variáveis testadas foram: (1) orientações das fachadas, (2) transmissão luminosa do vidro, (3) profundidade do ambiente, (4) existência ou ausência de dispositivos de proteção solar internos e externos, (5) tipos de controle da iluminação artificial.

1) Três orientações das fachadas: Norte, Sul e Oeste. Como a face Leste e Oeste são simétricas em relação ao Sol, optou-se por simular apenas na face Oeste que tem o período de trabalho com a incidência direta do Sol um pouco mais estendido, considerando o período de ocupação das 8h às 18h.

2) Transmissão luminosa (TL) do vidro nos seguintes valores: 88% (vidro incolor comum), 54% e 24%.

3) Profundidade do ambiente em relação à abertura: 8m, 12m e 21m.

4) Existência ou ausência dos dispositivos de proteção solar externos e internos e sua forma de acionamento. Para isto foram consideradas quatro situações:

- Sem proteção solar³⁹: Modelo base não possui dispositivo de sombreamento interno e externo na abertura e por isto a persiana fica aberta o tempo todo, mesmo quando o usuário apresenta problemas por desconforto visual.
- Proteção solar interna com acionamento manual⁴⁰: Modelo possui dispositivo de proteção solar interno (persiana) e o acionamento é manual, isto é, realizado pelo usuário do edifício. O acionamento manual pode ser realizado de duas formas no Diva: as persianas são abaixadas quando a radiação solar direta ocorre no plano de trabalho ou quando ocorre um desconforto visual e o usuário ativa o sistema de sombreamento interno. Nesta pesquisa o acionamento manual das persianas foi controlado através da simulação *annual glare*, realizada em um ponto de vista crítico no interior do ambiente. O ponto crítico localiza-se ao lado da janela em uma

³⁹ Modelo base possui a terminação (_S), na nomenclatura dos arquivos de simulação que significa sem sombreamento (ver Tabela 13).

⁴⁰ Modelo com persiana interna (I) e acionamento manual (am) possui a terminação (I_am) na nomenclatura dos arquivos de simulação (ver Tabela 13).

área com grande probabilidade de ofuscamento. Sempre que o desconforto visual, detectado através do *Daylight Glare Probability* (DGP), na simulação do *annual glare*, ocorre acima de 0,4 (ofuscamento perturbador), a persiana interna é abaixada.

- Proteção solar interna com acionamento conceitual⁴¹: Modelo possui dispositivo de proteção solar interno (persiana) e o acionamento é conceitual⁴². Acionamento conceitual pressupõe um sombreamento dinâmico que considera a operação de um dispositivo de proteção solar interno idealizado, que cobre todas as janelas na cena. Não há necessidade de modelar o dispositivo geometricamente e o efeito deste dispositivo é refletir toda a luz solar direta e permitir que apenas 25% da luz solar difusa entre no ambiente. Sempre que cessar a incidência da radiação solar direta este dispositivo é aberto. Ele funciona como se a persiana fosse automatizada, com o uso de sensores na fachada que comandam a abertura ou fechamento da persiana de acordo com a presença ou ausência de radiação solar direta.
- O modelo⁴³ possui dispositivo de proteção solar externo (brise) e persiana interna com acionamento manual ou conceitual, dependendo do cenário.

Para a definição do brise externo, nos modelos em que este dispositivo de proteção solar aparece, foram realizados estudos com a carta solar para definir o período de sombreamento, conforme Figura 32.

Os estudos das máscaras dos brises foram realizados no software Analysis SOL-AR⁴⁴, que é um programa gráfico que permite a obtenção da carta solar da latitude especificada. Este software foi desenvolvido por pesquisadores do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE). O ângulo de sombreamento encontrado na máscara solar foi usado para desenhar o corte do brise. Este

41 Modelo com persiana interna (I) e acionamento conceitual (ac) possui a terminação (I_ac) na nomenclatura dos arquivos de simulação (ver Tabela 13).

42 O sombreamento conceitual é uma definição proveniente do software Diva. Refere-se a uma das possibilidades de acionamento dos dispositivos de sombreamento interno do software. Esta opção executa simulações de acionamento de dispositivos de sombreamento interno de forma mais rápida, pois não necessita a modelagem geométrica dos dispositivos, mas pressupõe algumas premissas nas quais o algoritmo do software se baseia para realizar os cálculos. Disponível em < <http://diva4rhino.com/page/advanced-shading-cbm> >

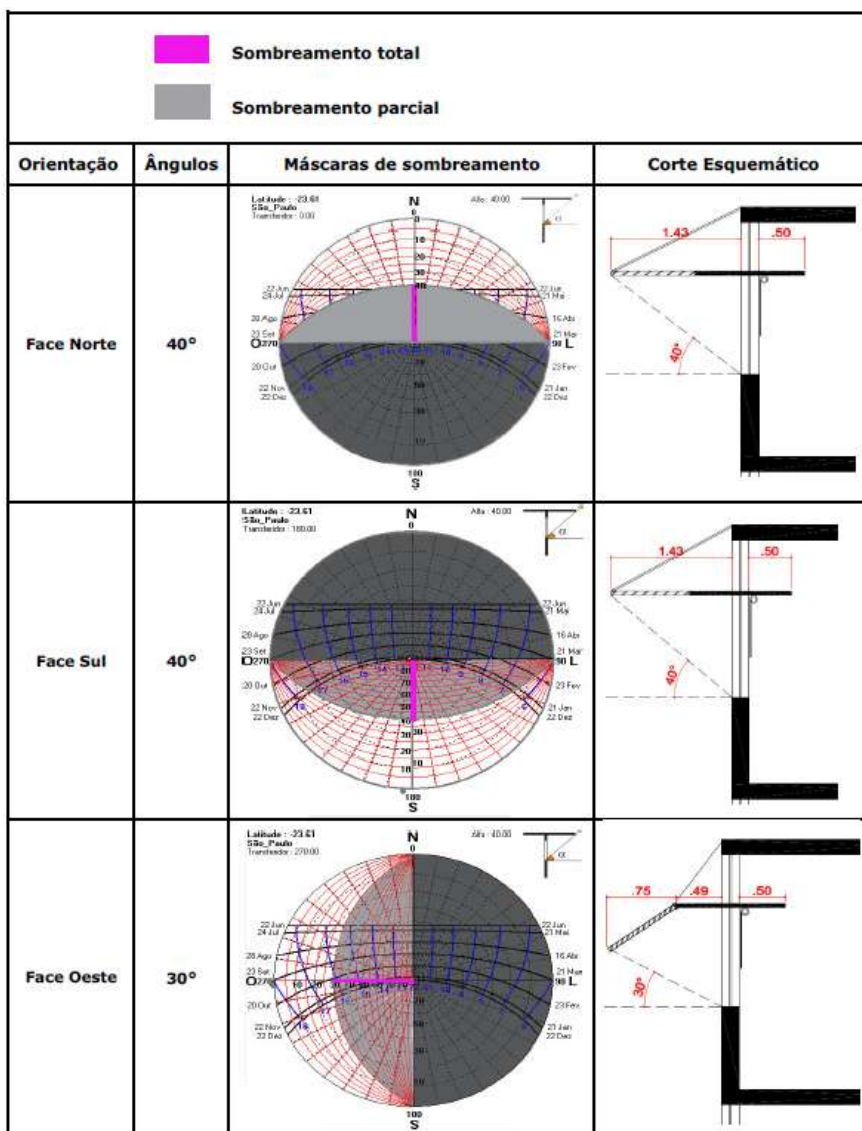
43 Modelo com persiana interna (I) e brise externo (E) possui a terminação (EI_ac) , para acionamento conceitual e a terminação (EI_am), para acionamento manual, na nomenclatura dos arquivos de simulação (ver Tabela 13).

44 Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>>

desenho foi realizado no programa AutoCAD⁴⁵ e através dele foi possível obter o dimensionamento do brise (profundidade).

Após obter as medidas do brise, através do desenho em corte, foi possível modelar este dispositivo em 3D, no software Rhinoceros, que trabalha em conjunto com o plug-in Diva. Os ângulos dos brises são iguais para as faces Norte e Sul (40°) e na face oeste (30°) (Figura 32).

Figura 32: Máscara de sombreamento e corte esquemático dos brises



Fonte: Autora da tese

45 Disponível em < <http://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview> >

Apesar dos ângulos com valores iguais ou muito próximos eles terão desempenho diferentes para as orientações. Com o intuito de resolver a questão do bloqueio da radiação solar, em horários que o brise não consegue proteger, a persiana interna foi pensada para trabalhar em conjunto com o mesmo.

Optou-se por reproduzir a mesma solução para todas as orientações, com uma pequena diferenciação apenas na face Oeste, porque um dos objetivos do projeto era tirar partido do redirecionamento da radiação solar direta, visando a melhoria da iluminação natural. O elemento projetado funciona como brise para a parte inferior da abertura e como prateleira de luz para a parte superior. Esta radiação incide na parte superior do brise/ prateleira de luz e após refletida por este elemento e pelo forro entra de forma difusa no ambiente.

A prateleira de luz permite que a luz natural alcance uma profundidade maior no interior e proporciona um sombreamento em relação à radiação solar, no período de eficácia deste elemento que depende da altura angular do projeto da prateleira e a orientação solar em que esta será inserida. Este dispositivo bloqueia a visão de céu na proximidade da janela, reduzindo, desta forma, o nível de iluminação nesta área que geralmente é muito elevado e contribui para aumentar a uniformidade do ambiente (IESNA, 2011).

Outra questão do motivo da escolha do dispositivo de sombreamento horizontal para todas as orientações é que ele proporciona uma visão externa desobstruída para o exterior do edifício, no momento em que as persianas estão levantadas. Este fato é muito positivo para o conforto visual dos usuários que podem ter uma maior integração com o exterior do edifício.

Os cenários os quais os modelos possuem brise/ prateleira de luz foram estudados apenas para a profundidade do ambiente de 12m e transmissão luminosa de 88%. Devido à limitação em relação ao tempo de pesquisa, conclui-se que o estudo dos cenários com os brises/ prateleira de luz nos modelos com uma profundidade intermediária (12m), em relação à todas as dimensões de profundidade analisadas (8m, 12m, 21m) seria o suficiente para chegar às conclusões necessárias da pesquisa. Estes cenários com o brise aparecem pintados em cinza, na tabela com a matriz dos cenários analisados (Tabela 13).

5). Em relação aos sistemas de controle da iluminação artificial foram simuladas duas situações para verificar a economia de energia resultante da integração da iluminação artificial à iluminação natural. A primeira situação é a do modelo-base, o qual foi considerado sem integração à iluminação natural. Neste caso o sistema de iluminação artificial fica acionado integralmente, durante todo o período de ocupação. A segunda situação considera que o sistema de iluminação artificial possui dimerização, que regula o nível da iluminação artificial, complementado a luz natural disponível naquele ponto do

ambiente.

As simulações no Diva podem disponibilizar como uma das saídas dos resultados o consumo de energia anual do sistema de iluminação artificial, considerando a forma de acionamento dos controles elétricos e os dispositivos de sombreamento das janelas. Para tal deve-se informar nos *inputs* do programa (dados de entrada) os seguintes dados: potência do sistema, ballast loss factor⁴⁶, potência *standby*, valor do *setpoint* (valor-alvo) do nível de iluminação artificial e a forma de operação deste sistema (manual ou automatizado).

O *setpoint* (valor-alvo) considerado para o sistema artificial foi 500 lux, conforme a indicação da norma de iluminação artificial (ABNT, 2013), para ambientes de escritórios. Portanto nos cenários simulados com o sistema de controle dimerizável a luz artificial será desligada completamente, nos pontos os quais o nível atinge o valor estabelecido pela norma. Nos pontos os quais os níveis de iluminação ficam abaixo de 500 lux a iluminação artificial será complementar em relação aos valores disponibilizados pela iluminação natural.

Na descrição dos cenários que aparece na terceira coluna da tabela resumo (Tabela 2) é apresentado o *status* da iluminação artificial (toda acesa ou dimerizada). Deve-se ressaltar que todas as imagens da distribuição da luz que aparecem na tabela resumo (Tabela 6, Tabela 9) referem-se apenas à iluminação natural e não às duas integradas (luz natural e artificial). Os dados de iluminação artificial são disponibilizados a parte, em um relatório resumo do Daysim, na extensão .html.

Para auxiliar no projeto do de iluminação artificial, necessário na obtenção dos dados de potência total do sistema instalado e a distribuição das luminárias foi utilizado o programa Relux⁴⁷. Apesar do Diva possibilitar a simulação da iluminação artificial, disponibilizando o cálculo da potência do sistema de iluminação, optou-se fazer este cálculo no Relux, por ser considerado pela autora da tese mais prático e rápido para realizar esta etapa do processo. No software Relux é possível colocar o nível de iluminação artificial que se deseja alcançar e o software calcula automaticamente a quantidade de luminárias necessárias, considerando que o arquivo IES⁴⁸ da luminária já foi selecionado como *input* (dado de entrada) do programa. O software Diva não faz o cálculo da quantidade de luminárias

⁴⁶ Porcentagem do pico de energia usado por um sistema de dimerização quando ele está totalmente atenuado. Fonte: < <http://diva4rhino.com/user-guide/rhino/lighting-controls>>

⁴⁷ Software para o cálculo da iluminação natural e artificial. Disponível em < <http://www.relux.biz>>

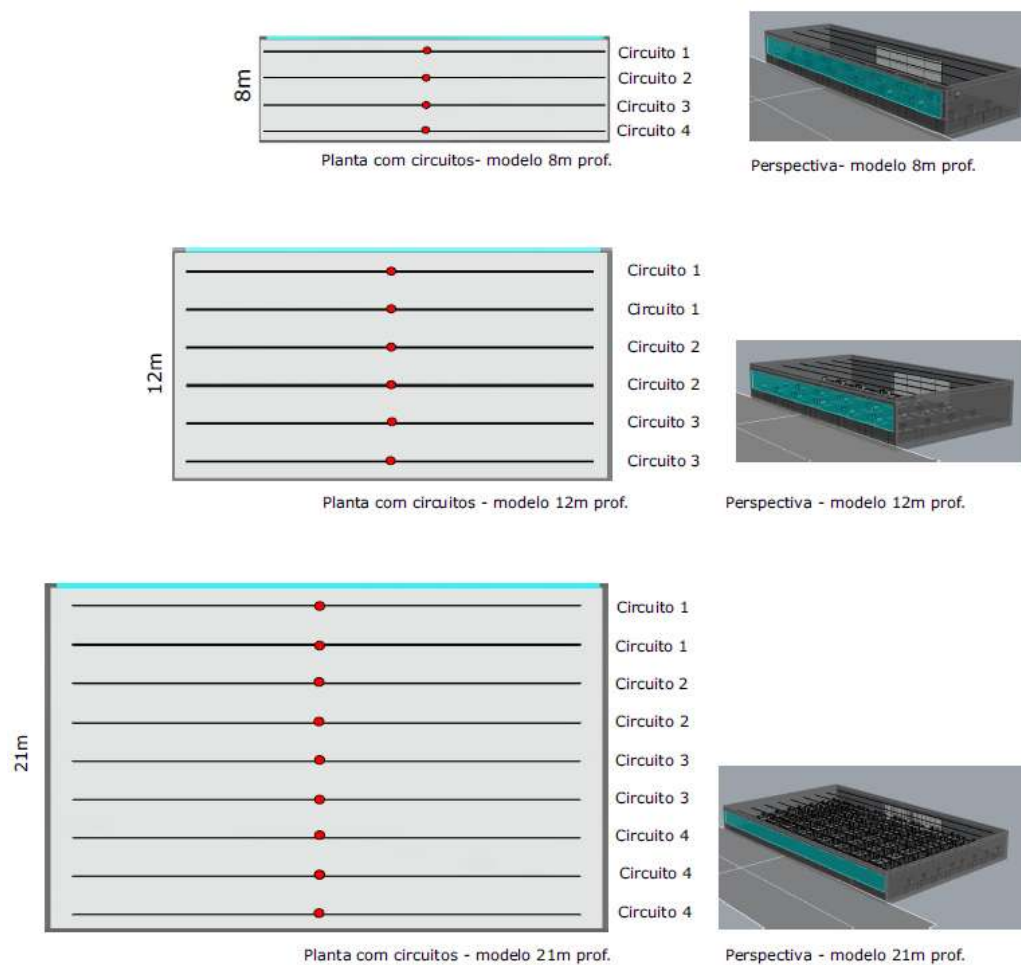
⁴⁸ Arquivos IES são arquivos de dados com dados fotométricos de luminárias, criados usando o formato padronizado IES (*Illuminating Engineering Society*).

necessárias para atingir um determinado nível de iluminação. Ele calcula os níveis resultantes de luz e potência do sistema após a inserção das luminárias no modelo 3D.

As luminárias dos modelos foram inseridas em linhas paralelas às aberturas do ambiente, visando a melhor integração da luz natural com a artificial, conforme imagem da Figura 33.

O programa Diva permite adicionar até no máximo quatro grupos de luminárias (circuitos independentes) que serão dimerizadas, de acordo com sensores selecionados em pontos do ambiente. Estes sensores dimerizam o nível da iluminação artificial, de acordo com a luz natural existente. Na Figura 32 abaixo aparece a distribuição das luminárias no ambiente (linha contínua preta) e a indicação dos sensores (pontos vermelhos) que comandam cada grupo de luminárias (circuito)

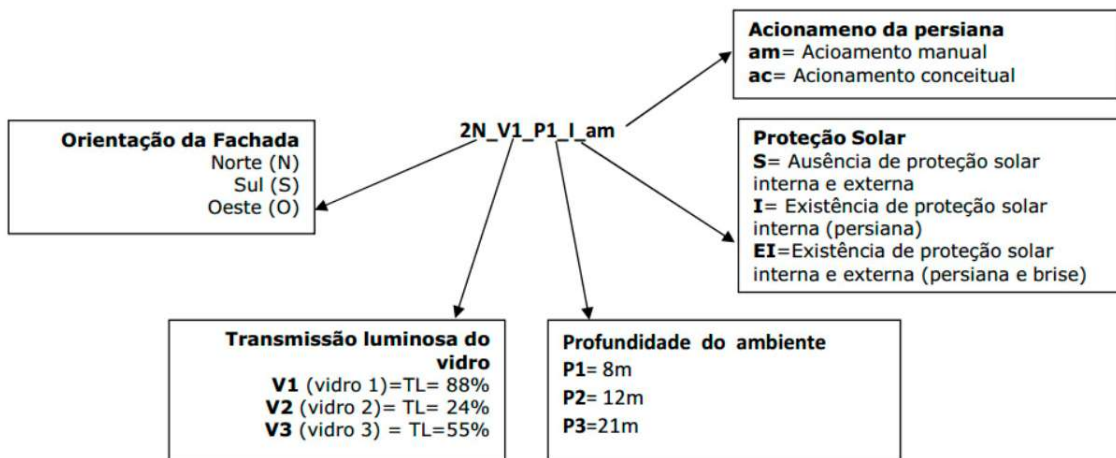
Figura 33: Imagem com os circuitos de iluminação para os modelos de 8m, 12m e 21m



Fonte: Autora da tese

Considerando-se as variáveis a serem testadas foram previstos 87 cenários de simulação e 203 chamadas de simulações, visto que para cada cenário era necessário rodar a simulação mais de uma vez para obter dados de saída distintos. Portanto foram realizadas 87 simulações para obter as métricas da iluminação (*Daylight Availability* e UDI), 87 simulações para obter os gráficos de ofuscamento (*annual glare*) e 29 para obter os dados da métrica ASE (*Annual Sunlight Exposure*). Neste quantitativo não estão consideradas as simulações realizadas como teste ou que foram refeitas por apresentarem dados inconsistentes.

A nomenclatura para identificar as simulações que foram realizadas aparece na última coluna da Tabela 13. Esta nomenclatura contém as referências sobre as características do modelo, conforme exemplo abaixo:



CAPÍTULO 5 – ESTUDOS ANALÍTICOS

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

Tabela 13: Matriz dos cenários avaliados, com a respectiva nomenclatura do arquivo

Face	WWR (%)	Tipo de vidro transmissão luminosa	Profundidade da planta	Proteção Solar	Arquivo de Resultado
Norte	WWR2 60%	Vidro 1 88%	P1=8m	S	1N_V1_P1_S
				I_am	2N_V1_P1_I_am
				I_ac	2N_V1_P1_I_ac
			P2=12m	S	3N_V1_P2_S
				I_am	4N_V1_P2_I_am
				I_ac	4N_V1_P2_I_ac
				El_am	5N_V1_P2_El_am
				El_ac	5N_V1_P2_El_ac
				P3=21m	S
		I_am	7N_V1_P3_I_am		
		I_ac	7N_V1_P3_I_ac		
		Vidro 2 24%	P1=8m	S	8N_V2_P1_S
				I_am	9N_V2_P1_I_am
				I_ac	9N_V2_P1_I_ac
			P2=12m	S	10N_V2_P2_S
				I_am	11N_V2_P2_I_am
				I_ac	11N_V2_P2_I_ac
			P3=21m	S	12N_V2_P3_S
				I_am	13N_V2_P3_I_am
				I_ac	13N_V2_P3_I_ac
		Vidro 3 54%	P1=8m	S	14N_V3_P1_S
				I_am	15N_V3_P1_I_am
				I_ac	15N_V3_P1_I_ac
			P2=12m	S	16N_V3_P2_S
				I_am	17N_V3_P2_I_am
				I_ac	17N_V3_P2_I_ac
			P3=21m	S	18N_V3_P3_S
I_am	19N_V3_P3_I_am				
I_ac	19N_V3_P3_I_ac				
Sul	WWR2 60%	Vidro 1 88%	P1=8m	S	20S_V1_P1_S
				I_am	21S_V1_P1_I_am
				I_ac	21S_V1_P1_I_ac
			P2=12m	S	22S_V1_P2_S
				I_am	23S_V1_P2_I_am
				I_ac	23S_V1_P2_I_ac
				El_am	24S_V1_P2_El_am
				El_ac	24S_V1_P2_El_ac
				P3=21m	S
		I_am	26S_V1_P3_I_am		
		I_ac	26S_V1_P3_I_ac		
		Vidro 2 24%	P1=8m	S	27S_V2_P1_S
				I_am	28S_V2_P1_I_am
				I_ac	28S_V2_P1_I_ac
			P2=12m	S	29S_V2_P2_S
				I_am	30S_V2_P2_I_am
				I_ac	30S_V2_P2_I_ac
			P3=21m	S	31S_V2_P3_S
				I_am	32S_V2_P3_I_am
				I_ac	32S_V2_P3_I_ac
		Vidro 3 54%	P1=8m	S	33S_V3_P1_S
				I_am	34S_V3_P1_I_am
				I_ac	34S_V3_P1_I_ac
			P2=12m	S	35S_V3_P2_S
				I_am	36S_V3_P2_I_am
				I_ac	36S_V3_P2_I_ac
			P3=21m	S	37S_V3_P3_S
				I_am	38S_V3_P3_I_am
				I_ac	38S_V3_P3_I_ac

Tabela 1: Matriz dos cenários avaliados, com a respectiva nomenclatura do arquivo

Face	WWR (%)	Tipo de vidro transmissão luminosa	Profundidade da planta	Proteção Solar	Arquivo de Resultado
Oeste	WWR2 60%	Vidro 1 88%	P1=8m	S	390_V1_P1_S
				I_am	400_V1_P1_I_am
				I_ac	400_V1_P1_I_ac
			P2=12m	S	410_V1_P2_S
				I_am	420_V1_P2_I_am
				I_ac	420_V1_P2_I_ac
		P3=21m	EI_am	430_V1_P2_EI_am	
			EI_ac	430_V1_P2_EI_ac	
			S	440_V1_P3_S	
		Vidro 2 24%	P1=8m	I_am	450_V1_P3_I_am
				I_ac	450_V1_P3_I_ac
				S	460_V2_P1_S
	P2=12m		I_am	470_V2_P1_I_am	
			I_ac	470_V2_P1_I_ac	
			S	480_V2_P2_S	
	P3=21m	I_am	490_V2_P2_I_am		
		I_ac	490_V2_P2_I_ac		
		S	500_V2_P3_S		
	Vidro 3 54%	P1=8m	I_am	510_V2_P3_I_am	
			I_ac	510_V2_P3_I_ac	
			S	520_V3_P1_S	
		P2=12m	I_am	530_V3_P1_I_am	
			I_ac	530_V3_P1_I_ac	
			S	540_V3_P2_S	
P3=21m	I_am	550_V3_P2_I_am			
	I_ac	550_V3_P2_I_ac			
	S	560_V3_P3_S			
P3=21m	I_am	570_V3_P3_I_am			
	I_ac	570_V3_P3_I_ac			

Fonte: Autora da tese

Para melhor entendimento das questões referentes ao impacto dos dispositivos de sombreamento (externos e internos) e a influência do comportamento dos usuários nos mesmos, em todos os conjuntos de cenários testados há um cenário base⁴⁹, que também pode ser chamado de cenário de referência. Estes que são aqueles que não possuem nenhum tipo de sombreamento e o sistema de iluminação artificial é considerado ligado durante todo o período de trabalho. Desta forma é possível comparar este cenário com outros para verificar a influência dos dispositivos de sombreamento internos e do sistema de controle da iluminação artificial.

⁴⁹ Os cenários base são aqueles que aparecem com a terminação _S na nomenclatura do arquivo de resultados apresentados na Tabela 13.

5.2 Dados de entrada

Os modelos computacionais visam à representação de uma realidade, com o objetivo de analisar características consideradas importantes em relação ao objeto investigado. No caso desta pesquisa o objeto investigado é a iluminação natural em edifícios de escritório, portanto devem-se caracterizar as variáveis que interferem na luz natural.

Os principais dados a serem considerados em um programa de simulação da iluminação estão divididos em dois grupos: dados da edificação⁵⁰ e dados da condição de céu.

5.2.1 Dados da edificação

Os dados geométricos da edificação foram modelados no software Rhinoceros 3D⁵¹. Foram elaborados três modelos tridimensionais com as seguintes dimensões:

- 27m (largura) x 8m (profundidade)
- 23m (largura) x 12m (profundidade)
- 34m (largura) x 21m (profundidade)

Após a elaboração dos modelos foram associadas, a cada superfície, as características ópticas dos materiais.

O software Diva já vem com uma lista de materiais típicos de construção em um arquivo chamado "material .rad." Materiais customizados que não se encontram na lista podem ser criados, mas devem seguir a mesma programação dos materiais criados no Radiance, visto que o Diva usa este programa como ferramenta de cálculo.

A transmissão luminosa dos vidros varia, dependendo do cenário, em três tipos: 88%, 54% e 24%. O vidro simples com a transmissão de 88% tem as suas propriedades disponíveis na lista de materiais que vem na instalação do programa. Porém os outros dois tipos foram criados, segundo as recomendações disponíveis no site do software Radiance⁵² e uma planilha chamada *Radiance Material Generator*, disponível no site do *Sustainable Design Lab*, da Faculdade de Arquitetura do MIT⁵³. Esta planilha converte os valores de refletância e transmitância dos materiais em valores que devem ser usados para compor

50 Características do edifício e do seu entorno

51 Software Rhinoceros foi desenvolvido por (McNeal, 2010)

52 Disponível em < <http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/ray.html#Materials>>

53 MIT (Massachusetts Institute of Technology). Disponível em:

http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/teaching_resources.html. Acesso em: 25 jun. 2016

o script de programação das características do material no Radiance.

Para exemplificar a criação do material no Radiance, o vidro com 24% de transmissão luminosa foi programado com o seguinte script:

```
# Glazing_DoublePane_COOLLIGHT125_PN: Tau_vis = 0.24; SHGC= 0.41; U-
Value= 5.7W/m2K

# visual transmittance: 24%

# visual transmissivity: 26%

void glass Glazing_DoublePane_Prata_24
0
0
3 0.26 0.26 0.26
```

O valor das refletâncias do piso, forro, paredes e mobiliário, seguem as recomendações da norma IES LM-83-12.

A características de refletância das superfícies internas estão dispostas na tabela a seguir:

Tabela 14: Superfícies e suas refletâncias

Superfície	Refletância
Piso	20%
Forro	70%
Parede	50%
Mobiliário	50%
Porta	50%
Persiana	60%
Brise/ prateleira de luz	70%
Piso exterior	5%

Fonte: Autora da tese

As primeiras simulações foram realizadas com o mobiliário contendo, para cada estação de trabalho, um conjunto com a mesa e o computador.

O modelo 3D do computador possui vários detalhes, sendo composto por diversas superfícies. Este fato resulta em um aumento de tempo significativo para o processamento das simulações. Após diagnosticar este problema, definiu-se por retirar os modelos 3D dos computadores da cena de simulação, tendo em vista que estes elementos não tem um impacto significativo na distribuição da luz. Quando se faz um modelo para a simulação da iluminação deve-se questionar quais os elementos importantes a serem acrescentados ao modelo. Aqueles que não têm um impacto significativo e que podem resultar em um maior tempo de processamento devem ser repensados, considerando a possibilidade de não inseri-los.

Não foram consideradas obstruções externas do entorno nos modelos (edifícios do entorno, árvores, etc.). Sabe-se que estes elementos tem uma grande influência no resultado final da iluminação natural (SAXENA et al, 2013). Porém optou-se por não incluir os elementos de obstrução externos, com o objetivo de verificar o potencial máximo para a iluminação natural, considerando apenas os elementos próprios da edificação.

Na tabulação dos dados, o método proposto de análise foi comparado à proposta da IES - (LM-83-12) para verificar o desempenho. Este relatório indica o protocolo que deve ser seguido para fazer as simulações e um dos itens refere-se à modelagem de obstruções externas.

Mesmo as simulações realizadas com a metodologia da IES LM-83-12, foram realizadas sem as obstruções externas, para que, desta forma, ela se tornasse comparável com as outras simulações, com as mesmas condições externas.

Ao finalizar os procedimentos de inserção dos dados de entrada do programa, antes de iniciar a simulação é necessário colocar diversos parâmetros do *raytracing* necessários para os cálculos realizados pelo programa Radiance.

Estes parâmetros influenciam a precisão dos cálculos da simulação e o tempo de processamento das mesmas (REINHART et al, 2001).

Os parâmetros usados nas simulações seguem as recomendações de Reinhart (2006), que para cena simples sugere os parâmetros conforme a Tabela 15 e para cenas mais complexas os parâmetros da Tabela 16.

Em todas as simulações realizadas foram utilizados os parâmetros da tabela 4, com exceção das cenas mais complexas em que o modelo possuía o brise/ prateleira de luz. Neste caso foram utilizados os parâmetros da tabela 5, que considera um maior número

de interreflexões dos raios e portanto é mais adequado para o cálculo da iluminação quando existe elementos redirecionadores da radiação solar direta. O parâmetro ambiente bouces (ab), define o número de interreflexões dos raios entre as superfícies que o programa irá calcular. As cenas mais simples têm, para este parâmetro, o valor 5 e as mais complexas o valor 7.

Tabela 15: Parâmetros para a simulação no Radiance sugeridos para cenas simples.

ambient bounces	ambient division	ambient sampling	ambient accuracy	ambient resolution	direct threshold	direct sampling
5	1000	20	0.1	300	0	0

Fonte: Reinhart, 2016

Tabela 16: Parâmetros para a simulação no Radiance sugeridos para cenas complexas.

ambient bounces	ambient division	ambient sampling	ambient accuracy	ambient resolution	direct threshold	direct sampling
7	1500	100	0.1	300	0	0

Fonte: Reinhart, 2016

5.2.2 Dados da condição de céu

A disponibilidade de luz natural tem suas características próprias para cada localidade, variando de acordo com os efeitos da sazonalidade, resultado do movimento aparente do Sol, latitude, horário e clima do local.

A fontes de luz natural podem ser provenientes diretamente do Sol, da luz difusa da abóbada celeste, ou de ambas, dependendo da situação.

O tipo de céu que ocorre com maior frequência em uma determinada localidade tem uma grande influência na disponibilidade de luz natural, no interior das edificações.

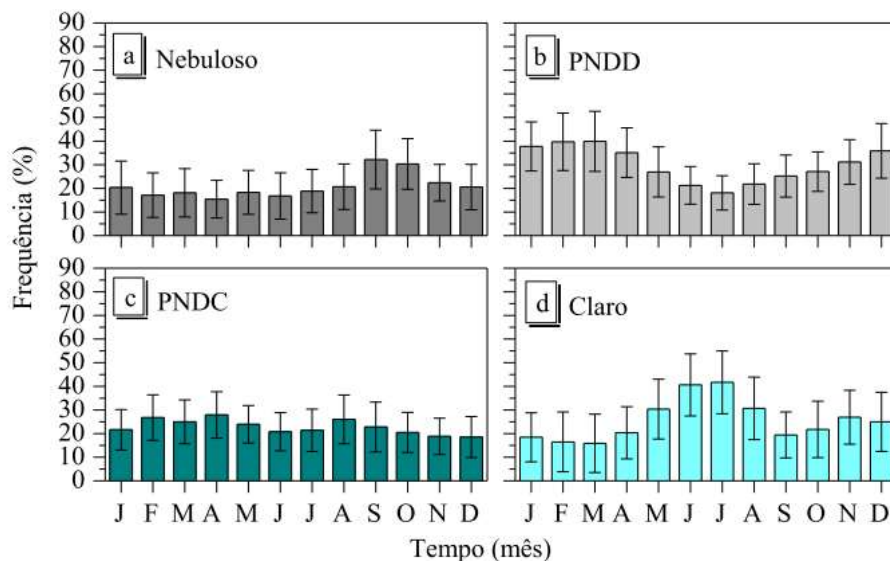
A condição de céu ou tipo de céu, pode ser definido como “aparência da abóbada celeste quando vista por um observador situado na superfície terrestre, que está relacionada à distribuição espacial da sua emissão de luz” (ABNT, 2005b).

A classificação do tipo de céu é estimada de acordo com o percentual de nuvens existentes no céu podendo ser: céu claro (0% a 35% de nuvens), céu parcialmente encoberto (35% a 75% de nuvens) e céu encoberto (75% a 100% de nuvens). (ABNT, 2005b).

Figueiredo (2016) tabulou os dados de tipo de céu em São Paulo para verificar a frequência

de ocorrência, utilizando dados de medição de 30 anos do IAG⁵⁴. A partir da análise destes gráficos é possível verificar que a condição predominante de céu em São Paulo é o céu parcialmente encoberto (Figura 34).

Figura 34: Frequência mensal das condições de céu Nebuloso, Parcialmente Nebuloso com Dominância para o Difuso, Parcialmente Nebuloso com Dominância para o Claro e Claro, de 01/01/1983 a 31/12/2013.



Fonte: (FIGUEIREDO, 2016) A partir de dados fornecidos pelo IAG .

A orientação das fachadas tem uma grande influência na disponibilidade de Luz natural, em razão do movimento aparente do Sol.

Cada fachada receberá uma quantidade de radiação solar diferente, que poderá entrar de forma direta ou difusa.

Considerando todas as questões expostas acima verifica-se que os dados climáticos do local têm grande influência na disponibilidade da luz natural das edificações.

Para a simulação dinâmica da luz natural é necessário utilizar um arquivo climático que possui dados horários, com registro de condições climáticas para 8760 horas de um ano.

Os arquivos climáticos usados nos modelos simulados têm a extensão EPW. Este formato

⁵⁴ IAG- Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciência atmosféricas da Universidade de São Paulo

de arquivo climático foi gerado nas primeiras versões pelo DOE⁵⁵, para a utilização no programa Energy plus⁵⁶. Arquivos EPW tem como base dados compilados no formato TMY (*Typical Meteorological Year*), que possuem dados de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, pressão atmosférica, ventos, radiação solar e nebulosidade. (CARLO, 2005).

O arquivo TMY é elaborado segundo um método de tratamento de dados que identifica o ano climático de referência de uma localidade, utilizando uma sequência de dados históricos de vários anos. O método consiste em excluir sucessivamente meses mais quentes e mais frios de vários anos até que reste apenas um. Este será considerado como o mês típico do lugar e o arquivo TMY será formado por 12 meses selecionados, que podem ser de diferentes anos (RORIZ, 2012).

Portanto os arquivos TMY, que são base para a extensão EPW, são constituídos por dados compilados de meses sem extremos de temperatura, provenientes de diferentes anos (CAVALCANTE⁵⁷, 2010;.CRAWLEY, 1998).

O arquivo EPW utilizado nas simulações, para o clima de São Paulo, foi elaborado por Roriz (2012) e gerado a partir de dados horários registrados pela estação climatológica do INMET⁵⁸, entre os anos de 2000 e 2010.

5.3 Resultados das simulações computacionais

Após realizar as simulações computacionais para a análise do desempenho luminoso dos modelos diversos resultados de métricas da iluminação natural foram disponibilizadas.

A primeira tentativa de sistematizar os dados de simulação foi organizá-los, conforme aparecem no apêndice C. Nesta sistematização as métricas (DA, *Daylight Availability*, cDA, UDI<100, UDI100-300, UDI>3000) foram dispostas lado a lado, para comparar cenários sem nenhum dispositivo de sombreamento interno e cenários que possuíam persianas com acionamento manual.

Após a execução desta tarefa verificou-se a necessidade de uma maior síntese dos dados, de forma a facilitar a compreensão dos mesmos.

⁵⁵ DOE (Department of Energy). Departamento de Energia dos USA, responsável pela energia e segurança nuclear.

⁵⁶ Software para a simulação do desempenho térmico e energético das edificações

⁵⁷ Arquivo disponível em < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>

⁵⁸ INMET- Instituto Nacional de Meteorologia.

Visando este objetivo foram elaboradas as tabelas síntese para todos os cenários simulados nas faces Norte, Sul e Oeste.

Estas tabelas foram organizadas conforme explicações do capítulo 4.

Os resultados sistematizados possibilitam a avaliação de diferentes aspectos do projeto: disponibilidade de iluminação natural, conforto visual e energia.

Na última coluna da tabela-síntese parte 1 aparece um campo destinado a marcar se o cenário avaliado foi aprovado ou reprovado. Na sequência serão apresentadas as tabelas-síntese com os resultados de todos os cenários avaliados.

Tabela 17: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Iluminação Natural			Conforto Visual			Energia	Reprovado	Aprovado	TESE
			1) DA 300lux (50%) (% da área)	2) NDI= DA 300lux (50%) - overlit (% da área)	3) UDI <100-2000lux> acima de 50% horas ocupadas (% da área)	4) "Overlit area" % da área com probabilidade de ofuscamento	5) Ofuscamento ponto 1 (crítico) : % de ocorrência de horas de ocupação)	6) Annual Sunlight Exposure (ASE) : % da área com ASE>250 horas				
		Escritório Face Norte WWR=60%										
Vidro 1 TL=88%	8m	1N_V1_P1_S Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	100%	49%	56%	51%	42%	—	100%	100%	X	
Vidro 1 TL=88%	8m	2N_V1_P1_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	5%	0%	11%	16%	0%	—	18%	81%	X	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12			ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 1 TL=88%	8m	2N_V1_P1_I_ac Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana . Iluminação artificial dimerizada.	92%	52%	83%	40%	1%	29%	56%	33%	X	✓
Vidro 1 TL=88%	12m	3N_V1_P2_S Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	89%	60%	74%	29%	41%	—	100%	100%	X	
Vidro 1 TL=88%	12m	4N_V1_P2_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	5%	0%	8%	12%	9,5%	—	19%	90%	X	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12			ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 1 TL=88%	12m	4N_V1_P2_I_ac Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	46%	23%	84%	23%	0%	16%	60%	52%	✓	✓
Vidro 1 TL=88%	12m	5N_V1_P2_I_EI_am Face Norte com sombreamento interno (persiana) e externo. Acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	61%	44%	96%	17%	0%	—	80%	47%	✓	
Vidro 1 TL=88%	12m	5N_V1_P2_I_EI_ac Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	77%	58%	89%	19%	0%	0%	100%	43%	✓	✓
Vidro 1 TL=88%	21m	6N_V1_P3_S Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	43%	25%	50%	18%	35%	—	100%	100%	X	
Vidro 1 TL=88%	21m	7N_V1_P3_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	4%	0%	8%	8%	8%	—	21%	98%	X	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12			ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 1 TL=88%	21m	7N_V1_P3_I_ac Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	27%	13%	38%	14%	0%	10%	62%	88%	X	X

Fonte: Autora da tese

Tabela 18: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural				Conforto Visual				
			0 20 40 60 80 100%	Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento	Overlit (> 3000lux) Partially Daylit(100 a 300 lux) Underlit(<100lux)	Daylit (300 a 3000lux)	Ofuscamento intolerável DGP $\geq .45$	Ofuscamento perturbador .45 > DGP $\geq .4$	Ofuscamento perceptível .4 > DGP $\geq .35$	Ofuscamento imperceptível .DGP > .35	
		Cenários Face Norte									
		1N_V1_P1_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 56 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)					
Vidro 1 TL=88%	8m	Face Norte sem sombreamento interno e externo.									
Vidro 1 TL=88%	8m	Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.		2) UDI (100-2000 LUX)= 11% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)					
Vidro 1 TL=88%	8m	Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.									
Vidro 1 TL=88%	12m	Face Norte sem sombreamento interno e externo.	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 74% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)					
Vidro 1 TL=88%	12m	Face Norte sem sombreamento interno e externo.									
Vidro 1 TL=88%	12m	Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 8% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)					
Vidro 1 TL=88%	12m	Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.									
Vidro 1 TL=88%	12m	Face Norte com sombreamento interno (persiana) e externo- acionamento da persiana manual.	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 96% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)					
Vidro 1 TL=88%	12m	Face Norte com sombreamento interno (persiana) e externo- acionamento da persiana manual.									
Vidro 1 TL=88%	21m	Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=53 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)					
Vidro 1 TL=88%	21m	Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa									
Vidro 1 TL=88%	21m	Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 8% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)					
Vidro 1 TL=88%	21m	Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.									

Fonte: Autora da tese

Tabela 19: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%. Fonte: Autora da tese

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual	
		Cenários Face Norte		Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento	<ul style="list-style-type: none"> Overlit (> 3000lux) Daylit (300 a 3000lux) Partially Daylit(100 a 300 lux) Underlit(<100lux) Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação	<ul style="list-style-type: none"> Ofuscamento intolerável DGP\geq.45 Ofuscamento perturbador .45>DGP\geq.4 Ofuscamento perceptível .4 >DGP\geq.35 Ofuscamento imperceptível .DGP>.35 	
Vidro 1 TL=88%	8m	2N_V1_P1_L_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 83% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)	
		Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .					
			1N_V1_P1_S	2N_V1_P1_L_am	2N_V1_P1_L_ac	Legenda	
		Face Norte/8m				<ul style="list-style-type: none"> a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende	
		Gráfico comparativo entre cenários					
Vidro 1 TL=88%	12m	4N_V1_P2_L_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 84% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)	
		Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .					
Vidro 1 TL=88%	12m	5N_V1_P2_EI_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 89% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)	
		Face Norte com sombreamento interno (persiana) e externo (brise). Acionamento conceitual da persiana .					
		Gráfico comparativo entre cenários/ Face norte 12m	3N_V1_P2_S	4N_V1_P2_L_am	4N_V1_P2_L_ac	5N_V1_P2_L_EI_am	5N_V1_P2_L_EI_ac
		<ul style="list-style-type: none"> a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende					
Vidro 1 TL=88%	21m	7N_V1_P3_L_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 38% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)	
		Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .					
			6N_V1_P3_S	7N_V1_P3_L_am	7N_V1_P3_L_ac	Legenda	
		Face Norte/21m				<ul style="list-style-type: none"> a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende	
		Gráfico comparativo entre cenários					

Tabela 20: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL)= 24%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Iluminação Natural			Conforto Visual				Energia	X	✓	
			1) DA 300lux (50%) (% da área)	2) NDI= DA 300lux (50%) - overlit (% da área)	3) UDI <100-2000lux> acima de 50% horas ocupadas	4) "Overlit area" % do espaço com probabilidade de ofuscamento	5) Ofuscamento ponto 1 (crítico) : % de ocorrência horas de ocupação)	6) Annual Sunlight Exposure (ASE) : % do espaço com ASE>250 h	7) Visão Externa % de ocorrência (horas de ocupação)				8) Iluminação artificial % da iluminação artificial acesa
		Escritório Face Norte WWR=60%											
Vidro 2 TL=24%	8m	8N_V2_P1_S Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	64%	39%	100%	25%	10%	_____	100%	100%			✓
Vidro 2 TL=24%	8m	9N_V2_P1_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	57%	41%	99%	16%	3%	_____	72%	54%			✓
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 2 TL=24%	8m	9N_V2_P1_I_ac Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	57%	41%	99%	16%	3%	28%	72%	54%	X		✓
Vidro 2 TL=24%	12m	10N_V2_P2_S Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	35%	20%	71%	15%	9%	_____	100%	100%	X		
Vidro 2 TL=24%	12m	11N_V2_P2_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	20%	16%	45%	4%	5%	_____	74%	79%	X		
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 1 TL=24%	12m	11N_V2_P2_I_ac Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	19%	11%	41%	8%	12%	16%	69%	79%	X		X
Vidro 1 TL=24%	21m	12N_V2_P3_S Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	20%	12%	35%	8%	10%	_____	100%	100%	X		
Vidro 1 TL=24%	21m	13N_V2_P3_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	12%	10%	26%	3%	10%	_____	72%	88%	X		
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 1 TL=24%	21m	13N_V2_P3_I_ac Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	12%	6%	24%	6%	12%	8%	69%	88%	X		X

Fonte: Autora da tese

Tabela 21: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%. Fonte: Autora da tese

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual
		Cenários Face Norte		Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento	<ul style="list-style-type: none"> Overlit (> 3000lux) Daylit (300 a 3000lux) Partially Daylit(100 a 300 lux) Underlit(<100lux) Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação	<ul style="list-style-type: none"> Ofuscamento intolerável DGP\geq .45 Ofuscamento perturbador .45>DGP\geq .4 Ofuscamento perceptível .4 >DGP\geq .35 Ofuscamento imperceptível .DGP>.35
Vidro 2 TL=24%	8m	8N_V2_P1_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 100% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Norte sem sombreamento interno e externo.				
Vidro 2 TL=24%	8m	9N_V2_P1_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 99% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.				
Vidro 2 TL=24%	12m	10N_V2_P2_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 71 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Norte sem sombreamento interno e externo.				
Vidro 1 TL=24%	12m	11N_V2_P2_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 45% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.				
Vidro 2 TL=24%	21m	12N_V2_P3_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=36 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Norte sem sombreamento interno e externo.				
Vidro 2 TL=24%	21m	13N_V2_P3_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=25 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.				

Tabela 22: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%. Fonte: Autora da tese

Vidro	Profun- didade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual				
		Cenários Face Norte		Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux						
Vidro 2 TL=24%	8m	9N_V2_P1_I_ac	1) Daylight Availability 	2) UDI (100-2000 LUX)= 99% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit 	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico) 				
		Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .								
		Gráfico comparativo entre cenários 	8N_V2_P1_S f) 100% a) 64% e) 10% b) 39% d) 25% c) 100%	9N_V2_P1_I_am f) 72% a) 57% e) 3% b) 41% d) 16% c) 99%	9N_V2_P1_I_ac f) 72% a) 57% e) 3% b) 41% d) 16% c) 99%	Legenda a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) 				
Vidro2 TL=24%	12m	11N_V2_P2_I_ac	1) Daylight Availability 	2) UDI (100-2000 LUX)= 41% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit 	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico) 				
		Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .								
		Gráfico comparativo entre cenários 	10N_V2_P2_S f) 100% a) 35% e) 9% b) 20% d) 15% c) 71%	11N_V2_P2_I_am f) 74% a) 20% e) 5% b) 16% d) 4% c) 45%	11N_V2_P2_I_ac f) 69% a) 19% e) 12% b) 11% d) 8% c) 41%	Legenda a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) 				
Vidro 2TL=24%	21m	13N_V2_P3_I_ac	1) Daylight Availability 	2) UDI (100-2000 LUX)= 32% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit 	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico) 				
		Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .								
		Gráfico comparativo entre cenários 	12N_V2_P3_S f) 100% a) 20% e) 10% b) 12% d) 8% c) 35%	13N_V2_P3_I_am f) 72% a) 12% e) 10% b) 10% d) 3% c) 26%	13N_V2_P3_I_ac f) 69% a) 12% e) 12% b) 6% d) 6% c) 24%	Legenda a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) 				

Tabela 23: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Iluminação Natural			Conforto Visual				Energia	Reprovado	Aprovado
		Escritório Face Norte WWR=60%	1) DA 300lux (50%) (% da área)	2) NDI= DA 300lux (50%) - overlit (% da área)	3) UDI <100-2000lux> acima de 50% horas ocupadas	4) "Overlit area" % do espaço com probabilidade de ofuscamento	5) Ofuscamento ponto 1 (crítico) : % de ocorrência	6) Annual Sunlight Exposure (ASE) : % do espaço com ASE>250 h	7) Visão Externa % de ocorrência	8) Iluminação artificial % da iluminação artificial acesa		
Vidro 3 TL=54%	8m	14N_V3_P1_S Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	100%	69%	73%	31%	14%	_____	100%	100%	X	
Vidro 3 TL=54%	8m	15N_V3_P1_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	39%	19%	75%	20%	2%	_____	59%	56%	X	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12			ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 3 TL=54%	8m	15N_V3_P1_I_ac Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	67%	40%	100%	27%	7%	29%	66%	39%	X	✓
Vidro 3 TL=54%	12m	16N_V3_P2_S Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	60%	42%	85%	18%	13%	_____	100%	100%	X	
Vidro 3 TL=54%	12m	17N_V3_P2_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	27%	13%	37%	14%	6%	_____	63%	70%	X	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12			ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 3 TL=54%	12m	17N_V3_P2_I_ac Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	34%	19%	62%	15%	11%	16%	57%	62%	X	X
Vidro 3 TL=54%	21m	18N_V3_P3_S Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	34%	22%	44%	12%	13%	_____	100%	100%	X	
Vidro 3 TL=54%	21m	19N_V3_P3_I_am Face Norte com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	16%	8%	21%	8%	1,6%	_____	63%	84%	X	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12			ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 3 TL=54%	21m	19N_V3_P3_I_ac Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	21%	12%	34%	9%	8%	10%	68%	78%	X	X

Fonte: Autora da tese

Tabela 24: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual
		Cenários Face Norte	<p>Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux</p> <p>Probabilidade de ofuscamento</p> <p>Overlit (> 3000lux) Daylit (300 a 3000lux) Partially Daylit(100 a 300 lux) Underlit(<100lux) Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação</p>			<p>Ofuscamento intolerável $DGP \geq .45$</p> <p>Ofuscamento perturbador $.45 > DGP \geq .4$</p> <p>Ofuscamento perceptível $.4 > DGP \geq .35$</p> <p>Ofuscamento imperceptível $.DGP > .35$</p>
		14N_V3_P1_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 73% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 3 TL=54%	8m	Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa				
		15N_V3_P1_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 77% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 3 TL=54%	8m	Face Norte com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial				
		16N_V3_P2_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 85% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 3 TL=54%	12m	Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa				
		17N_V3_P2_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 37% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 3 TL=54%	12m	Face Norte com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial				
		18N_V3_P3_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 47% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 3 TL=54%	21m	Face Norte sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa				
		19N_V3_P3_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 21% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 3 TL=54%	21m	Face Norte com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial				

Fonte: Autora da tese

Tabela 25: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Norte com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%. Fonte: Autora da tese

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual				
		Cenários Face Norte		Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento	Overlit (> 3000lux) Partially Daylit(100 a 300 lux) Underlit(<100lux) Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação	Ofuscamento intolerável DGP $\geq .45$ Ofuscamento perturbador .45>DGP $\geq .4$ Ofuscamento perceptível .4 >DGP $\geq .35$ Ofuscamento imperceptível .DGP >.35				
Vidro3 TL=54%	8m	15N_V3_P1_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 100% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .								
Face Norte/8m			14N_V3_P1_S	15N_V3_P1_I_am	15N_V3_P1_I_ac	Legenda				
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende				
Vidro3 TL=54%	12m	17N_V3_P2_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 76% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .								
Face Norte/12m			16N_V3_P2_S	17N_V3_P2_I_am	17N_V3_P2_I_ac	Legenda				
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende				
Vidro3 TL=54%	21m	19N_V3_P3_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=36% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Norte com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .								
Face Norte/21m			18N_V3_P3_S	19N_V3_P3_I_am	19N_V3_P3_I_ac	Legenda				
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende				

Tabela 26: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Iluminação Natural				Conforto Visual				Energia	Reprovado	Aprovado	
			1) DA 300lux (50%) (% da área)	2) NDI= DA 300lux (50%) - overlit (% da área)	3) UDI <100-2000lux> acima de 50% horas ocupadas	4) "Overlit area" % do espaço com probabilidade de ofuscamento	5) Ofuscamento ponto 1 (crítico) : % de ocorrência	6) Annual Sunlight Exposure (ASE) : % do espaço com ASE>250 h	7) Visão Externa % de ocorrência	8) Iluminação artificial % da iluminação artificial acesa				
		Escritório Face Sul WWR=60%												
Vidro 1 TL=88%	8m	20S_V1_P1_S												
		Face Sul sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	100%	70%	73,00%	30%	19%	—	100%	100%	✗			
Vidro 1 TL=88%	8m	21S_V1_P1_I_am												
		Face Sul com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	61%	42%	100%	19%	0%	—	50%	41%		✓		
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 1 TL=88%	8m	21S_V1_P1_I_ac												
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	100%	67%	75%	33%	0%	0%	88%	31%		✓	✓	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 1 TL=88%	12m	22S_V1_P2_S												
		Face Sul sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	70%	45%	83%	25%	25%	—	100%	100%	✗			
Vidro 1 TL=88%	12m	23S_V1_P2_I_am												
		Face Sul com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	4%	0%	6%	10%	0%	—	45%	77%	✗			
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 1 TL=88%	12m	23S_V1_P2_I_ac												
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	66%	45%	83%	21%	0%	0%	100%	47%		✓	✓	
Vidro 1 TL=88%	12m	24S_V1_P2_EI_am												
		Face Sul com sombreamento interno (persiana) e externo (brise)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	57%	47%	97%	10%	0%	—	100%	51%		✓		
Vidro 1 TL=88%	12m	24S_V1_P2_EI_ac												
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	57%	47%	97%	10%	0%	0%	100%	52%		✓	✓	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 1 TL=88%	21m	25S_V1_P3_S												
		Face Sul sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	37%	25%	92%	12%	25%	—	100%	100%	✗			
Vidro 1 TL=88%	21m	26S_V1_P3_I_am												
		Face Sul com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	4%	0%	6%	8%	0%	—	46%	87%	✗			
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 1 TL=88%	21m	26S_V1_P3_I_ac												
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	26%	14%	38%	12%	0%	0%	100%	76%	✗	✗		

Fonte: Autora da tese

Tabela 27: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural				Conforto Visual			
			1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)	3) Resumo	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Cenários Face Sul	<p>Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux</p> <p>Probabilidade de ofuscamento</p>	<p>Overlit (> 3000lux)</p> <p>Daylit (300 a 3000lux)</p> <p>Partially Daylit (100 a 300 lux)</p> <p>Underlit (< 100lux)</p> <p>Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação</p>	<p>Ofuscamento intolerável $DGP \geq .45$</p> <p>Ofuscamento perturbador $.45 > DGP \geq .4$</p> <p>Ofuscamento perceptível $.4 > DGP \geq .35$</p> <p>Ofuscamento imperceptível $.DGP > .35$</p>					
Vidro 1 TL=88%	8m	20S_V1_P1_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 73% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul sem sombreamento interno e externo.								
Vidro 1 TL=88%	8m	21S_V1_P1_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 100% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.								
Vidro 1 TL=88%	12m	22S_V1_P2_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 83% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul sem sombreamento interno e externo.								
Vidro 1 TL=88%	12m	23S_V1_P2_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 6 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.								
Vidro 1 TL=88%	12m	24S_V1_P2_EI	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul com sombreamento interno (persiana) e externo (brise)- acionamento da persiana manual.								
Vidro 1 TL=88%	21m	25S_V1_P3_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=49 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul sem sombreamento interno e externo.								
Vidro 1 TL=88%	21m	26S_V1_P3_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 6 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.								

Fonte: Autora da tese

Tabela 28: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural				Conforto Visual			
			Cenários Face Sul		Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento	Overlit (> 3000 lux) Partially Daylit (100 a 300 lux) Underlit (< 100 lux) Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação	Daylit (300 a 3000lux)	Ofuscamento intolerável (DGP $\geq .45$) Ofuscamento perturbador ($.45 > DGP \geq .4$) Ofuscamento perceptível ($.4 > DGP \geq .35$) Ofuscamento imperceptível ($.DGP > .35$)		
Vidro1 TL=88%	8m	21S_V1_P1_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 75% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .								
		Face Sul/8m	20S_V1_P1_S	21S_V1_P1_I_am	21S_V1_P1_I_ac	Legenda				
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende				
Vidro1 TL=88%	12m	23S_V1_P2_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 83% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .								
		Face Sul/12m	22S_V1_P2_S	23S_V1_P2_I_am	23S_V1_P2_I_ac	24S_V1_P2_EI_am				
Gráfico comparativo entre cenários/ Face Sul/12m						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende				
Vidro1 TL=88%	12m	24S_V1_P2_EI_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 97% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul com sombreamento interno (persiana) e externo (brise). Acionamento conceitual da persiana .								
		Face Sul/12m	22S_V1_P2_S	23S_V1_P2_I_am	23S_V1_P2_I_ac	24S_V1_P2_EI_am				
Gráfico comparativo entre cenários/ Face Sul/12m						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende				
Vidro1 TL=88%	21m	26S_V1_P3_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 47 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .								
		Face Sul/21m	25S_V1_P3_S	26S_V1_P3_I_am	26S_V1_P3_I_ac	Legenda				
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende				

Fonte: Autora da tese

Tabela 29: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Iluminação Natural			Conforto Visual				Energia	Reprovado	Aprovado	LM-83-12	TESE
			1) DA 300lux (50%) (% da área)	2) NDI= DA 300lux (50%) overlit (% da área)	3) UDI <100-2000lux> acima de 50% horas ocupadas	4) "Overlit area" % do espaço com probabilidade de ofuscamento	5) Ofuscamento ponto 1 (crítico) : % de ocorrência	6) Annual Sunlight Exposure (ASE) : % do espaço com ASE>250 h	7) Visão Externa % de ocorrência					
		Escritório Face Sul WWR=60%												
Vidro 2 TL=24%	8m	27S_V2_P1_S Face Sul sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	42%	42%	99%	0%	0%	—	100%	100%		✓		
Vidro 2 TL=24%	8m	28S_V2_P1_I_am Face Sul com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	42%	42%	99%	0%	0%	—	100%	55%		✓		
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 2 TL=24%	8m	28S_V2_P1_I_ac Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	42%	42%	99%	0%	0%	0%	100%	55%	✗		✓	
Vidro 2 TL=24%	12m	29S_V2_P2_S Face Sul sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	25%	25%	54%	0%	0%	—	100%	100%	✗			
Vidro 2 TL=24%	12m	30S_V2_P2_I_am Face Sul com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	25%	25%	54%	0%	0%	—	100%	76%	✗			
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 2 TL=24%	12m	30S_V2_P2_I_ac Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	25%	25%	54%	0%	0%	0%	100%	76%	✗	✗		
Vidro 2 TL=24%	21m	31S_V2_P3_S Face Sul sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	16%	16%	31%	0%	0%	—	100%	100%	✗			
Vidro 2 TL=24%	21m	32S_V2_P3_I_am Face Sul com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	16%	16%	31%	0%	0%	—	100%	75%	✗			
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 2 TL=24%	21m	32S_V2_P3_I_ac Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	16%	16%	31%	0%	0%	0%	100%	75%	✗	✗		

Fonte: Autora da tese

Tabela 30: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%

Vidro	Profun- didade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual				
		Cenários Face Sul		Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux	Overlit (> 3000 lux) Partially Daylit (100 a 300 lux) Underlit (< 100 lux) Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação	Daylit (300 a 3000lux)	Ofuscamento intolerável $DGP \geq .45$	Ofuscamento perturbador $.45 > DGP \geq .4$	Ofuscamento perceptível $.4 > DGP \geq .35$	Ofuscamento imperceptível $.DGP > .35$
		27S_V2_P1_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=100 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 2 TL=24%	8m	Face Sul sem sombreamento interno e externo.								
		28S_V2_P1_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 99% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 2 TL=24%	8m	Face Sul com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.								
		29S_V2_P2_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=56 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 2 TL=24%	12m	Face Sul sem sombreamento interno e externo.								
		30S_V2_P2_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 54% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 2 TL=24%	12m	Face Sul com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.								
		31S_V2_P3_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 31% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 2 TL=24%	21m	Face Sul sem sombreamento interno e externo.								
		32S_V2_P3_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 31% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 2 TL=24%	21m	Face Sul com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.								

Fonte: Autora da tese

Tabela 31: Parte 3. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual	
		Cenários Face Sul		Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux			
Vidro2 TL=24%	8m	28S_V2_P1_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 99% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)	
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .					
		Face Sul/ 8m	27S_V2_P1_S	28S_V2_P1_I_am	28S_V2_P1_I_ac	Legenda a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) F) Visão Externa % de ocorrência (horas) 	
		Gráfico comparativo entre cenários					
Vidro2 TL=24%	12m	30S_V2_P2_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 54% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)	
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .					
		Face Sul/ 12m	29S_V2_P2_S	30S_V2_P2_I_am	30S_V2_P2_I_ac	Legenda a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) F) Visão Externa % de ocorrência (horas) 	
		Gráfico comparativo entre cenários					
Vidro2 TL=24%	21m	32S_V2_P3_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 31% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)	
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .					
		Face Sul/ 21m	31S_V2_P3_S	32S_V2_P3_I_am	32S_V2_P3_I_ac	Legenda a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) F) Visão Externa % de ocorrência (horas) 	
		Gráfico comparativo entre cenários					

Fonte: Autora da tese

Tabela 32: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Iluminação Natural			Conforto Visual				Energia	✘	✔	
			1) DA 300lux (50%) (% da área)	2) NDI= DA 300lux (50%) - overlit (% da área)	3) UDI <100-2000lux> acima de 50% horas ocupadas	4) "Overlit area" % do espaço com probabilidade de ofuscamento	5) Ofuscamento ponto 1 (crítico) : % de ocorrência	6) Annual Sunlight Exposure (ASE) : % do espaço com ASE>250 h	7) Visão Externa % de ocorrência	8) Iluminação artificial % da iluminação artificial acesa	Reprovado	Aprovado	
		Escritório Face Sul WWR=60%											
Vidro 3 TL=54%	8m	33S_V3_P1_S Face Sul sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	98%	78%	85%	20%	1%	—	100%	100%		✔	
Vidro 3 TL=54%	8m	34S_V3_P1_I_am Face Sul com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	97%	78%	85%	20%	0%	—	93%	36%		✔	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 3 TL=54%	8m	34S_V3_P1_I_ac Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	98%	78%	85%	20%	0%	0%	100%	36%		✔	✔
Vidro 3 TL=54%	12m	35S_V3_P2_S Face Sul sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	48%	37%	92%	11%	0%	—	100%	100%		✔	
Vidro 3 TL=54%	12m	36S_V3_P2_I_am Face Sul com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	48%	37%	92%	11%	0%	—	100%	58%		✔	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 2 TL=24%	12m	36S_V3_P2_I_ac Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	48%	37%	92%	11%	0%	0%	100%	58%	✘	✔	
Vidro 3 TL=54%	21m	37S_V3_P3_S Face Sul sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	28%	20%	42%	8%	1%	—	100%	100%	✘		
Vidro 3 TL=54%	21m	38S_V3_P3_I_am Face Sul com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	27%	20%	40%	7%	0%	—	93%	79%	✘		
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE	
Vidro 3 TL=54%	21m	38S_V3_P3_I_ac Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	28%	20%	42%	8%	0%	0%	100%	77%	✘	✘	

Fonte: Autora da tese

Tabela 33: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural				Conforto Visual			
			1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 85% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Cenários Face Sul	<p>Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux</p> <p>Overlit (> 3000lux) Daylit (300 a 3000lux)</p> <p>Partially Daylit(100 a 300 lux) Underlit(<100lux)</p> <p>Probabilidade de ofuscamento</p> <p>Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação</p>				<p>Ofuscamento intolerável DGP\geq .45</p> <p>Ofuscamento perturbador .45>DGP\geq .4</p> <p>Ofuscamento perceptível .4 >DGP\geq .35</p> <p>Ofuscamento imperceptível .DGP>.35</p>			
		33S_V3_P1_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 85% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	8m	Face Sul sem sombreamento interno e externo.								
		34S_V3_P1_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 93% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	8m	Face Sul com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual.								
		35S_V3_P2_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX) 93 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	12m	Face Sul sem sombreamento interno e externo.								
		36S_V3_P2_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 92% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	12m	Face Sul com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual.								
		37S_V3_P3_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=43% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	21m	Face Sul sem sombreamento interno e externo.								
		38S_V3_P3_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=40% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	21m	Face Sul com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual.								

Fonte: Autora da tese

Tabela 34: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Sul com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual
		Cenários Face Sul	<p>Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux</p> <p>Probabilidade de ofuscamento</p> <p>Overlit (> 3000lux) Daylit (300 a 3000lux) Partially Daylit(100 a 300 lux) Underlit(<100lux) Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação</p>			<p>Ofuscamento intolerável DGP $\geq .45$</p> <p>Ofuscamento perturbador .45 > DGP $\geq .4$</p> <p>Ofuscamento perceptível .4 > DGP $\geq .35$</p> <p>Ofuscamento imperceptível .DGP > .35</p>
Vidro3 TL=54%	8m	34S_V3_P1_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 85% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .				
		Face Sul/ 8m	33S_V3_P1_S	34S_V3_P1_I_am	34S_V3_P1_I_ac	Legenda
Gráfico comparativo entre cenários						<p>a) sDA 300lux (50%) (% da área)</p> <p>b) "Daylit area" (% da área)</p> <p>c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área)</p> <p>d) "Overlit area" (% da área)</p> <p>e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência)</p> <p>F) Visão Externa % de ocorrência (horas)</p> <p>Atende Atenção Não Atende</p>
Vidro3 TL=54%	12m	36S_V3_P2_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 92% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .				
		Face Sul/ 12m	35S_V3_P2_S	36S_V3_P2_I_am	36S_V3_P2_I_ac	Legenda
Gráfico comparativo entre cenários						<p>a) sDA 300lux (50%) (% da área)</p> <p>b) "Daylit area" (% da área)</p> <p>c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área)</p> <p>d) "Overlit area" (% da área)</p> <p>e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência)</p> <p>F) Visão Externa % de ocorrência (horas)</p> <p>Atende Atenção Não Atende</p>
Vidro3 TL=54%	21m	38S_V3_P3_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 42% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Sul com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .				
		Face Sul/ 21m	37S_V3_P3_S	38S_V3_P3_I_am	38S_V3_P3_I_ac	Legenda
Gráfico comparativo entre cenários						<p>a) sDA 300lux (50%) (% da área)</p> <p>b) "Daylit area" (% da área)</p> <p>c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área)</p> <p>d) "Overlit area" (% da área)</p> <p>e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência)</p> <p>F) Visão Externa % de ocorrência (horas)</p> <p>Atende Atenção Não Atende</p>

Fonte: Autora da tese

Tabela 35: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Iluminação Natural			Conforto Visual				Energia	Reprovado	Aprovado	LM-83-12	TESE
			1) DA 300lux (50%) (% da área)	2) NDI= DA 300lux (50%) - overlit (% da área)	3) UDI <100-2000lux> acima de 50% horas ocupadas	4) "Overlit area" % do espaço com probabilidade de ofuscamento	5) Ofuscamento ponto 1 (crítico) : % de ocorrência	6) Annual Sunlight Exposure (ASE) : % do espaço com ASE>250 h	7) Visão Externa % de ocorrência					
		Escritório Face Oeste WWR=60%												
Vidro 1 TL=88%	8m	39O_V1_P1_S Face Oeste sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	82%	42%	80%	40%	43%	—	100%	100%				
Vidro 1 TL=88%	8m	40O_V1_P1_I_am Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	55%	26%	58%	29%	0,2%	—	57%	53%		✓		
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 1 TL=88%	8m	40O_V1_P1_I_ac Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	94%	56%	80%	38%	6%	27%	65%	35%	✗		✓	
Vidro 1 TL=88%	12m	41O_V1_P2_S Face Oeste sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	75%	47%	80%	28%	40%	—	100%	100%				
Vidro 1 TL=88%	12m	42O_V1_P2_I_am Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	37%	23%	65%	14%	12%	—	42%	62%				
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 1 TL=88%	12m	42O_V1_P2_I_ac Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	63%	41%	83%	22%	8%	17%	79%	48%	✗		✓	
Vidro 1 TL=88%	12m	43O_V1_P2_EI_am Face Oeste com sombreamento interno (persiana) e externo-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	59%	49%	97%	10%	0%	0%	100%	50%		✓		
Vidro 1 TL=88%	12m	43O_V1_P2_EI_ac Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	59%	49%	97%	10%	0%	0%	100%	51%		✓		TESE ✓
Vidro 1 TL=88%	21m	44O_V1_P3_S Face Oeste sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	40%	24%	50%	16%	23%	—	100%	100%				
Vidro 1 TL=88%	21m	45O_V1_P3_I_am Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	24%	13%	28%	11%	2%	—	60%	70%				
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 1 TL=88%	21m	45O_V1_P3_I_ac Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	27%	14%	38%	13%	7%	10%	63%	70%	✗		✗	

Fonte: Autora da tese

Tabela 36: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual
		Cenários Face Oeste	Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento			Ofuscamento intolerável DGP \geq .45 Ofuscamento perturbador .45>DGP \geq .4 Ofuscamento perceptível .4>DGP \geq .35 Ofuscamento imperceptível .DGP>.35
		390_V1_P1_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=67% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 1 TL=88%	8m	Face Oeste sem sombreamento interno e externo.				
		400_V1_P1_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=58% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 1 TL=88%	8m	Face Oeste com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.				
		410_V1_P2_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 80% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 1 TL=88%	12m	Face Oeste sem sombreamento interno e externo.				
		420_V1_P2_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=3% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 1 TL=88%	12m	Face Oeste com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.				
		430_V1_P2_EI_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 97% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 1 TL=88%	12m	Face Oeste com sombreamento interno (persiana) e externo-acionamento da persiana manual.				
		440_V1_P3_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 52% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 1 TL=88%	21m	Face Oeste sem sombreamento interno e externo.				
		450_V1_P3_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 36% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
Vidro 1 TL=88%	21m	Face Oeste com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual.				

Fonte: Autora da tese

Tabela 37: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 88%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual			
			 Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento			4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)			
Vidro1 TL=88%	8m	400_V1_P1_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=73 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)			
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .							
		Face Oeste/ 8m	390_V1_P1_S	400_V1_P1_I_am	400_V1_P1_I_ac	Legenda			
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende			
Vidro1 TL=88%	12m	420_V1_P2_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=83 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)			
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .							
		Face Oeste/ 12m	410_V1_P2_S	420_V1_P2_I_am	420_V1_P2_I_ac	Legenda			
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende			
Vidro1 TL=88%	12m	430_V1_P2_EI_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=98 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)			
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana) e externo (brise). Acionamento conceitual da persiana .							
		Face Oeste/ 12m	410_V1_P2_S	420_V1_P2_I_am	420_V1_P2_I_ac	Legenda			
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende			
Vidro1 TL=88%	21m	450_V1_P3_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 44% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)			
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .							
		Face Oeste/ 21m	440_V1_P3_S	450_V1_P3_I_am	450_V1_P3_I_ac	Legenda			
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) ■ Atende ■ Atenção ■ Não Atende			

Fonte: Autora da tese

Tabela 38: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Iluminação Natural			Conforto Visual				Energia	Reprovado	Aprovado
		Escritório Face Oeste WWR=60%	1) DA 300lux (50%) (% da área)	2) NDI= DA 300lux (50%) - overlit (% da área)	3) UDI <100-2000lux> acima de 50% horas ocupadas	4) "Overlit area" % do espaço com probabilidade de ofuscamento	5) Ofuscamento ponto 1 (crítico) : % de ocorrência	6) Annual Sunlight Exposure (ASE) : % do espaço com ASE>250 h	7) Visão Externa % de ocorrência	8) Iluminação artificial % da iluminação artificial acesa		
Vidro 2 TL=24%	8m	46O_V2_P1_S Face Oeste sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	51%	40%	100%	11%	9%	_____	100%	100%		✓
Vidro 2 TL=24%	8m	47O_V2_P1_I_am Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	44%	35%	100%	9%	3%	_____	85%	58%		✓
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE
Vidro 2 TL=24%	8m	47O_V2_P1_I_ac Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	44%	35%	100%	9%	8%	11%	85%	55%	✗	✓
Vidro 2 TL=24%	12m	48O_V2_P2_S Face Oeste sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	30%	23%	61%	7%	8%	_____	100%	100%	✗	
Vidro 2 TL=24%	12m	49O_V2_P2_I_am Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	27%	21%	59%	7%	3%	_____	87%	76%	✗	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE
Vidro 2 TL=24%	12m	49O_V2_P2_I_ac Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	27%	20%	57%	7%	6%	7%	87%	75%	✗	✗
Vidro 2 TL=24%	21m	50O_V2_P3_S Face Oeste sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	18%	12%	35%	6%	7%	_____	100%	100%	✗	
Vidro 2 TL=24%	21m	51O_V2_P3_I_am Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	16%	13%	33%	3%	0%	_____	89%	85%	✗	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12				ASE			LM-83-12	TESE
Vidro 2 TL=24%	21m	51O_V2_P3_I_ac Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	17%	13%	34%	4%	0%	6%	92%	87%	✗	✗

Fonte: Autora da tese

Tabela 39: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual
		Cenários Face Oeste		Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento	<ul style="list-style-type: none"> Overlit (> 3000lux) Daylit (300 a 3000lux) Partially Daylit(100 a 300 lux) Underlit(<100lux) Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação	<ul style="list-style-type: none"> Ofuscamento intolerável $DGP \geq .45$ Ofuscamento perturbador $.45 > DGP \geq .4$ Ofuscamento perceptível $.4 > DGP \geq .35$ Ofuscamento imperceptível $.DGP > .35$
Vidro 2 TL=24%	8m	46O_V2_P1_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=100 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Oeste sem sombreamento interno e externo.				
Vidro 2 TL=24%	8m	47O_V2_P1_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 100% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual.				
Vidro 2 TL=24%	12m	48O_V2_P2_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 63% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Oeste sem sombreamento interno e externo.				
Vidro 2 TL=24%	12m	49O_V2_P2_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=57 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual.				
Vidro 2 TL=24%	21m	50O_V2_P3_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 35% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Oeste sem sombreamento interno e externo.				
Vidro 2 TL=24%	21m	51O_V2_P3_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 33% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual.				

Fonte: Autora da tese

Tabela 40: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 24%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual
		Cenários Face Oeste	<p>Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux</p> <p>Probabilidade de ofuscamento</p>	<p>Overlit (> 3000lux)</p> <p>Daylit (300 a 3000lux)</p> <p>Partially Daylit(100 a 300 lux)</p> <p>Underlit(<100lux)</p> <p>Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação</p>	<p>Ofuscamento intolerável DGP $\geq .45$</p> <p>Ofuscamento perturbador .45>DGP $\geq .4$</p> <p>Ofuscamento perceptível .4 >DGP $\geq .35$</p> <p>Ofuscamento imperceptível .DGP > .35</p>	
Vidro2 TL=24%	8m	470_V2_P1_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 100% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .				
Face Oeste/ 8m		460_V2_P1_S	470_V2_P1_I_am	470_V2_P1_I_ac	Legenda	
Gráfico comparativo entre cenários						<p>a) sDA 300lux (50%) (% da área)</p> <p>b) "Daylit area" (% da área)</p> <p>c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área)</p> <p>d) "Overlit area" (% da área)</p> <p>e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência)</p> <p>F) Visão Externa % de ocorrência (horas)</p> <p>Atende (verde) Atenção (amarelo) Não Atende (vermelho)</p>
Vidro2 TL=24%	12m	490_V2_P2_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=58 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .				
Face Oeste/ 12m		480_V2_P2_S	490_V2_P2_I_am	490_V2_P2_I_ac	Legenda	
Gráfico comparativo entre cenários						<p>a) sDA 300lux (50%) (% da área)</p> <p>b) "Daylit area" (% da área)</p> <p>c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área)</p> <p>d) "Overlit area" (% da área)</p> <p>e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência)</p> <p>F) Visão Externa % de ocorrência (horas)</p> <p>Atende (verde) Atenção (amarelo) Não Atende (vermelho)</p>
Vidro2 TL=24%	21m	510_V2_P3_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 34% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c)Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana .				
Face Oeste/ 21m		500_V2_P3_S	510_V2_P3_I_am	510_V2_P3_I_ac	Legenda	
Gráfico comparativo entre cenários						<p>a) sDA 300lux (50%) (% da área)</p> <p>b) "Daylit area" (% da área)</p> <p>c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área)</p> <p>d) "Overlit area" (% da área)</p> <p>e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência)</p> <p>F) Visão Externa % de ocorrência (horas)</p> <p>Atende (verde) Atenção (amarelo) Não Atende (vermelho)</p>

Fonte: Autora da tese

Tabela 41: Tabela síntese - Parte 1. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Iluminação Natural			Conforto Visual			Energia	Reprovado	Aprovado		
		Escritório Face Oeste WWR=60%	1) DA 300lux (50%) (% da área)	2) NDI= DA 300lux (50%) - overlit (% da área)	3) UDI <100-2000lux> acima de 50% horas ocupadas	4) "Overlit area" % do espaço com probabilidade de ofuscamento	5) Ofuscamento ponto 1 (crítico) : % de ocorrência horas de ocupação)	6) Annual Sunlight Exposure (ASE) : % do espaço com ASE>250 h	7) Visão Externa % de ocorrência (horas de ocupação)	8) Iluminação artificial % da iluminação artificial acesa			
Vidro 3 TL=54%	8m	52O_V3_P1_S Face Oeste sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	100%	70%	81%	30%	10%	—	100%	100%		✓	
Vidro 3 TL=54%	8m	53O_V3_P1_I_am Face Oeste com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	97%	77%	80%	20%	3%	—	85%	41%		✓	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12			ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 3 TL=54%	8m	53O_V3_P1_I_ac Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	98%	77%	84%	21%	7%	21%	87%	35%	✗	✓	
Vidro 3 TL=54%	12m	54O_V3_P2_S Face Oeste sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	54%	35%	90%	19%	10%	—	100%	100%		✓	
Vidro 3 TL=54%	12m	55O_V3_P2_I_am Face Oeste com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	50%	37%	90%	13%	7%	—	84%	59%		✓	
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12			ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 3 TL=54%	12m	55O_V3_P2_I_ac Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	51%	37%	92%	14%	7%	14%	85%	59%	✗	✓	
Vidro 3 TL=54%	21m	56O_V3_P3_S Face Oeste sem sombreamento interno e externo. Iluminação artificial toda acesa	32%	20%	45%	12%	12%	—	100%	100%	✗		
Vidro 3 TL=54%	21m	57O_V3_P3_I_am Face Oeste com sombreamento interno (persiana)- acionamento da persiana manual. Iluminação artificial dimerizada	28%	20%	41%	8%	2%	—	82%	78%	✗		
			sDA 300lux (50%)	Avaliação segundo a norma da IES- LM- 83-12			ASE			LM-83-12	TESE		
Vidro 3 TL=54%	21m	57O_V3_P3_I_ac Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.	30%	22%	45%	8%	1%	8%	85%	75%	✗	✗	

Fonte: Autora da tese

Tabela 42: Tabela síntese - Parte 2. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural				Conforto Visual			
			1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
		Cenários Face Oeste		Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento	Overlit (> 3000lux) Partially Daylit(100 a 300 lux) Underlit(<100lux) Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação	Ofuscamento intolerável DGP $\geq .45$ Ofuscamento perturbador .45 > DGP $\geq .4$ Ofuscamento perceptível .4 > DGP $\geq .35$ Ofuscamento imperceptível .DGP > .35				
		520_V3_P1_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=81 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	8m	Face Oeste sem sombreamento interno e externo.								
		530_V3_P1_I	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=80% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	8m	Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual.								
		540_V3_P2_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 89% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	12m	Face Oeste sem sombreamento interno e externo.								
		550_V3_P2_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)=82 % do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	12m	Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual.								
		560_V3_P3_S	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 45% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	21m	Face Oeste sem sombreamento interno e externo.								
		570_V3_P3_I_am	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 36% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	3) Ofuscamento ponto 1 (crítico)				
Vidro 3 TL=54%	21m	Face Oeste com sombreamento interno (persiana)-acionamento da persiana manual.								

Fonte: Autora da tese

Tabela 43: Tabela síntese - Parte 3. Resultados dos cenários face Oeste com transmissão luminosa do vidro (TL) = 54%

Vidro	Profundidade	Arquivo de Simulação	Disponibilidade de Luz Natural			Conforto Visual			
			 Percentual de horas ocupadas com valores ≥ 300 lux Probabilidade de ofuscamento	Overlit (> 3000lux) Partially Daylit(100 a 300 lux) Underlit(<100lux) Obs: para no mínimo 50% das horas de ocupação	Daylit (300 a 3000lux) Underlit(<100lux)	Ofuscamento intolerável DGP $\geq .45$	Ofuscamento perturbador .45 > DGP $\geq .4$	Ofuscamento perceptível .4 > DGP $\geq .35$	Ofuscamento imperceptível .DGP > .35
Vidro3 TL=54%	8m	530_V3_P1_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 85% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)			
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.							
		Face Oeste/ 8m	520_V3_P1_S	530_V3_P1_I_am	530_V3_P1_I_ac	Legenda			
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) Atende (green), Atenção (yellow), Não Atende (red)			
Vidro3 TL=54%	12m	550_V3_P2_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 92% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)			
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada							
		Face Oeste/ 12m	540_V3_P2_S	550_V3_P2_I_am	550_V3_P2_I_ac	Legenda			
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) Atende (green), Atenção (yellow), Não Atende (red)			
Vidro3 TL=54%	21m	570_V3_P3_I_ac	1) Daylight Availability	2) UDI (100-2000 LUX)= 45% do espaço acima de 50% das horas ocupadas	3) Resumo - a) Overlit b) Daylit c) Partially Daylit d) Underlit	4) Ofuscamento ponto 1 (crítico)			
		Face Oeste com sombreamento interno (persiana). Acionamento conceitual da persiana. Iluminação artificial dimerizada.							
		Face Oeste/ 21m	560_V3_P3_S	570_V3_P3_I_am	570_V3_P3_I_ac	Legenda			
Gráfico comparativo entre cenários						a) sDA 300lux (50%) (% da área) b) "Daylit area" (% da área) c) UDI<100-2000lux> acima de 50% horas (% da área) d) "Overlit area" (% da área) e) Ofuscamento ponto 1 (crítico)(% de ocorrência) f) Visão Externa % de ocorrência (horas) Atende (green), Atenção (yellow), Não Atende (red)			

Fonte: Autora da tese

5.4 Análise dos cenários em relação ao desempenho luminoso

Para facilitar a comparação entre os cenários foi atribuída uma nota de classificação para cada um deles, de acordo com os critérios apresentados no capítulo 4 (Apêndice B).

Após estabelecer uma nota para cada cenário estes foram organizados em ordem decrescente de desempenho, da maior pontuação para a menor. A tabela com a classificação dos cenários foi utilizada para sintetizar todas as informações estudadas, ajudando na análise e entendimento dos critérios analisados. A ordem de classificação dos cenários aprovados aparece na Tabela 44.

Tabela 44: Classificação dos cenários aprovados da maior pontuação para a menor

Classificação	Pontuação final	Profundidade e transmissão luminosa	Face	Cenários	1) sDA 300lux (50%)	b) NDI	c) UDI <100-2000lux>	d) "Overlit area"	e) Ofuscamento	f) Visão externa	aprovado
1	14	8m/ TL=54%	S	33S_V3_P1_S	3	3	2	1	3	2	A
2	14	8m/ TL=54%	S	34S_V3_P1_I_am	3	3	2	1	3	2	A
3	14	8m/ TL=54%	S	34S_V3_P1_I_ac	3	3	2	1	3	2	A
4	13	12m/ TL=88%	O	43O_V1_P2_EI_am	2	1	2	3	3	2	A
5	13	12m/ TL=88%	O	43O_V1_P2_EI_ac	2	1	2	3	3	2	A
6	13	8m/ TL=54%	O	53O_V3_P1_I_am	3	2	2	1	3	2	A
7	13	12m/ TL=88%	S	24S_V1_P2_EI_am	2	1	2	3	3	2	A
8	13	12m/ TL=88%	S	24S_V1_P2_EI_ac	2	1	2	3	3	2	A
9	13	8m/ TL=88%	S	21S_V1_P1_I_ac	3	2	2	1	3	2	A
10	12	8m/ TL=24%	S	27S_V2_P1_S	1	1	2	3	3	2	A
11	12	8m/ TL=24%	S	28S_V2_P1_I_am	1	1	2	3	3	2	A
12	12	8m/ TL=24%	S	28S_V2_P1_I_ac	1	1	2	3	3	2	A
13	12	12m/ TL=88%	N	5N_V1_P2_I_EI_ac	3	1	2	1	3	2	A
14	11	8m/ TL=54%	O	53O_V3_P1_I_ac	3	2	2	0	2	2	A
15	11	8m/ TL=24%	O	47O_V2_P1_I_am	1	0	2	3	3	2	A
16	11	12m/ TL=88%	S	23S_V1_P2_I_ac	2	1	2	1	3	2	A
17	11	12m/ TL=54%	S	35S_V3_P2_S	1	0	2	3	3	2	A
18	11	12m/ TL=54%	S	36S_V3_P2_I_am	1	0	2	3	3	2	A
19	11	8m/ TL=88%	N	2N_V1_P1_I_Ac	3	1	2	1	3	1	A
20	11	12m/ TL=88%	N	5N_V1_P2_I_EI_am	2	1	2	1	3	2	A
21	10	8m/ TL=24%	O	47O_V2_P1_I_ac	1	0	2	3	2	2	A
22	10	8m/ TL=54%	O	52O_V3_P1_S	3	2	2	0	1	2	A
23	9	8m/ TL=88%	O	40O_V1_P1_I_ac	3	1	2	0	2	1	A
24	9	8m/ TL=88%	S	21S_V1_P1_I_am	2	0	2	1	3	1	A
25	9	8m/ TL=24%	N	9N_V2_P1_I_am	2	0	2	1	3	1	A
26	9	8m/ TL=24%	N	9N_V2_P1_I_ac	2	0	2	1	3	1	A
27	8	12m/ TL=88%	O	42O_V1_P2_I_ac	2	0	2	0	2	2	A
28	8	12m/ TL=54%	O	54O_V3_P2_S	2	0	2	0	2	2	A
29	8	12m/ TL=88%	N	4N_V1_P2_I_ac	1	0	2	1	3	1	A
30	7	8m/ TL=24%	O	46O_V2_P1_S	1	0	2	0	2	2	A
31	7	12m/ TL=54%	O	55O_V3_P2_I_am	1	0	2	0	2	2	A
32	7	12m/ TL=54%	O	55O_V3_P2_I_ac	1	0	2	0	2	2	A
33	7	8m/ TL=88%	O	40O_V1_P1_I_am	2	0	0	1	3	1	A
34	7	8m/ TL=54%	N	15N_V3_P1_I_ac	2	0	2	0	2	1	A
35	7	8m/ TL=24%	N	8N_V2_P1_S	2	0	2	0	1	2	A

Fonte: Autora da tese

Foram analisados 87 cenários de simulação no total. Apenas 35 cenários foram aprovados em relação ao desempenho da iluminação natural, isto é, 40 % da amostra total (Tabela

44). 52 cenários foram reprovados. A tabela com os cenários reprovados e a classificação dos mesmos, segundo a sua pontuação, aparece no apêndice D.

Para a aprovação é necessário que haja um equilíbrio entre os aspectos de disponibilidade de luz, conforto visual e economia de energia. Para tal, os cenários devem atender aos pré-requisitos estipulados para a aprovação, descritos no capítulo 4. O aspecto de energia, que verifica a quantidade de energia elétrica que deve ser acionada devido à integração da luz natural com a artificial, pode ser medido junto ao pré-requisito disponibilidade de luz, pois estão diretamente relacionados. Por este motivo, nesta pesquisa não há um pré-requisito específico na área de energia.

Entre os cenários aprovados, 37% são da face Sul, 40% da face Oeste e 23% da face Norte. Verifica-se que os piores desempenhos são da face Norte, tanto em termos de quantidade de cenários aprovados, quanto em relação à pontuação destes cenários. Uma das explicações para este fato deve-se à incidência da radiação solar direta no período da manhã e da tarde em grande parte do ano, nos cenários voltados para a face Norte. Por este motivo as persianas internas devem ser acionadas com maior frequência, diminuindo a disponibilidade de iluminação natural anual.

Isto não significa que a face Norte seja a pior face para o desempenho da iluminação, pois esta questão depende das características arquitetônicas analisadas. No caso dos cenários analisados, este fato ocorreu porque a maioria dos modelos não possuía dispositivos externos para sombrear e/ou redirecionar a radiação solar direta, sendo por este motivo, inapropriados para uma face com grande incidência de radiação solar direta.

Lam (1986) coloca uma questão importante sobre a radiação solar direta em seu livro "*Sunlight as Formgiver for Architecture*". Ele questiona:

‘O Sol: problema ou oportunidade? Em sua argumentação ele defende que podem ocorrer as duas questões, dependendo do clima no qual o edifício está inserido. No caso dos países com climas quentes, que a radiação solar direta contribui para o aquecimento indesejado do interior da edificação e tipologias de escritório, as quais o ofuscamento deve ser evitado, é possível usar elementos externos redirecionadores da radiação solar direta. Estes elementos têm por objetivo proteger o ambiente da entrada de radiação solar direta, rebatendo esta radiação para que entre na forma de luz difusa dentro da edificação. Neste caso o Sol seria uma oportunidade para aumentar o nível de iluminação na profundidade do ambiente, sem causar o ofuscamento.

Os cenários da face Sul são os que têm melhor desempenho, de forma geral, com as melhores pontuações. Considerando os 10 primeiros colocados, 7 cenários são da face Sul,

e 3 da face Oeste. Isto pode ser explicado porque a face Sul, para a latitude de São Paulo, é a que possui a menor incidência de radiação solar direta ao longo do ano. Este fato diminui a ocorrência de ofuscamento e a necessidade de acionamento da persiana interna, aumentando desta maneira a disponibilidade de luz natural anual.

Dentre estes primeiros colocados na classificação geral, encontram-se 2 cenários da face Oeste e 2 da face Sul que possuem brise. Isto demonstra que o brise tem um grande potencial de aumentar a disponibilidade de luz interna anual, dependendo da forma como ele foi projetado, pois diminui a frequência de fechamento do dispositivo de sombreamento interno (persiana) com a diminuição do ofuscamento. Por este motivo melhora o desempenho anual da iluminação natural. Todos os brises dos cenários analisados são horizontais e possuem uma prateleira de luz na parte superior da abertura. Estes brises foram projetados com o objetivo de evitar a radiação solar em um grande período do ano e do dia. Mas para evitar que ele se transformasse em um dispositivo que além de bloquear a radiação solar direta, também bloqueasse a iluminação natural, este elemento foi pensado para funcionar em conjunto com uma persiana interna. Assim, nos períodos em que a radiação solar possui ângulos de incidência muito baixos, os quais necessitariam de brises mais fechados, a persiana interna deve ser acionada evitando, desta forma, a necessidade do uso de brises muito fechados que poderiam reduzir drasticamente a disponibilidade de luz natural anual.

Se considerarmos a classificação dos cenários separados por face Norte, Sul e Oeste verifica-se que aqueles com brise estão sempre entre as primeiras colocações.

Na face Norte, o cenário com brise do modelo que tem 12m de profundidade fica em primeiro lugar na pontuação geral desta face, junto ao cenário com 8m de profundidade com o acionamento da persiana conceitual, isto é, a persiana fecha toda vez que incide radiação direta na fachada, e abre novamente na ausência da mesma.

Apesar dos cenários da face Norte terem apresentado os piores desempenhos na pontuação geral (todos os cenários juntos), que ocorre em razão da grande quantidade de radiação solar direta incidente nesta face, é possível melhorar de forma significativa este desempenho, se forem utilizados elementos externos redirecionadores da radiação solar. Esta estratégia é uma grande aliada para a melhoria da iluminação em faces com grande incidência da radiação solar direta, principalmente para a face Norte. Esta face possui ângulos de incidência mais altos, fáceis de bloquear a entrada através de brises horizontais. Estes brises horizontais que podem ser utilizados como redirecionadores da radiação, caso combinados com uma abertura acima dos mesmos. Esta estratégia diminui o ofuscamento

e melhora de forma significativa desempenho da distribuição da luz natural no interior da edificação. Ressalta-se que a maioria dos cenários analisados nas simulações não possuem brises ou elementos de redirecionamento da radiação solar⁵⁹. Devido a este fato os cenários da face Norte tiveram desempenho inferiores aos da face Sul e Oeste. Se estes cenários tivessem modelos com dispositivos externos redirecionadores da radiação direta, esta classificação teria um desempenho diferente, com melhoria significativa no ranking geral.

Todos os cenários aprovados têm profundidade de 8m e 12m. Os cenários dos modelos que possuem 21m de profundidade foram todos reprovados, porque a disponibilidade de luz natural não atinge a meta proposta neste quesito que deve ter no mínimo 300lux nos pontos internos para uma área acima de 54% do ambiente, em pelo o menos 50 % do período de ocupação. Portanto, quando o sistema principal para a distribuição da iluminação natural é a abertura unilateral, como ocorre na maior parte dos casos de iluminação dos ambientes de escritório, a profundidade tem uma influência muito grande e deve ser considerada para um projeto bem-sucedido da luz natural.

Em relação à transmissão luminosa dos vidros que foram testados com valores de 88%, 54% e 24%, verifica-se que dos cenários aprovados, 34% desta amostra possui TL= 54%, 40% da amostra possui TL= 88% e 26% da amostra possui TL=24%.

Dos cenários aprovados com TL=88%, que configuram ao todo 14 modelos, verifica-se que apenas um destes cenários possui acionamento manual. O restante da amostra possui seis cenários com brise e sete com acionamento conceitual, isto é, toda vez que houver ofuscamento no ponto crítico a persiana interna fecha e logo que ele deixa de ocorrer a persiana abre. Funciona como se houvesse uma persiana automatizada. Verifica-se nestes casos que como a transmissão luminosa é alta, aumenta a probabilidade de ocorrência de ofuscamento. Portanto os cenários aprovados devem ter dispositivos para proteção solar, sejam eles brises externos ou persianas automatizadas.

Dos cenários aprovados com TL=54%, que configuram ao todo 12 modelos, 4 não têm nenhuma proteção interna e externa, 4 têm acionamento manual e 4 têm acionamento conceitual.

Dos cenários aprovados com TL=24%, que configuram ao todo 9 modelos, 3 cenários não possuem nenhum tipo de proteção interna e externa, três possuem acionamento manual e três possuem acionamento conceitual.

⁵⁹ Os cenários com brises/ prateleiras de luz foram simulados apenas para os modelos com profundidade de 12m e 88% de transmissão luminosa

Os três primeiros colocados do ranking geral em pontuação têm a TL= 54%, são face Sul e 8m de profundidade. Em termos de proteção solar têm três configurações diferentes de acionamento do dispositivo de sombreamento: sem sombreamento interno e externo, acionamento manual e acionamento conceitual. Pode-se concluir que a transmissão luminosa com este valor intermediário diminuiu o ofuscamento, que já não é muito grande pelo fato destes modelos estarem na face Sul. Por este motivo não é necessário acionar com tanta frequência a persiana no modelo de acionamento conceitual e manual e todas estas opções se comportam de forma similar ao modelo sem proteção solar nenhuma em relação ao desempenho luminoso.

Dos modelos com TL=88% que aparecem entre as primeiras colocações todos têm brise externo e a profundidade é de 12m, visto que os modelos com brise foram testados apenas para esta profundidade. Podemos concluir que o vidro com transmissão luminosa mais alta tem uma maior probabilidade de causar ofuscamento, por isso a proteção solar tem um papel importante no melhor desempenho para os casos com vidros de TL=88%. Podemos provar esta afirmação observando o fato que todos os modelos aprovados com TL=88% possuem proteção solar interna e/ou externa.

Todos os modelos com TL= 24% aprovados têm profundidade de 8m. Isto demonstra que os vidros com baixa transmissão luminosa não são apropriados para espaços muito profundos. Mesmo nos modelos aprovados com TL= 24%, se consideramos apenas o aspecto da disponibilidade de luz natural, que possui 3 requisitos na tabela resumo, a pontuação máxima é de 9 pontos, sendo que estes modelos pontuaram valores menores ou iguais a 5 pontos.

Os cenários com os piores desempenhos (10 últimas colocações dos cenários aprovados) são da face norte e oeste, com a maioria dos casos possuindo profundidade de 12m e 21m.

Para concluir a questão da transmissão luminosa do vidro, esta escolha deve ser feita de forma integrada considerando diversos aspectos como profundidade do ambiente, existência ou não do sombreamento interno e externo e, se for o caso, a forma de acionamento dos mesmos.

5.5 Análise dos cenários em relação ao desempenho energético referente à integração da iluminação natural com a artificial

As análises para verificar a diminuição do consumo do sistema de iluminação artificial devido à integração com a luz natural foram realizadas de forma comparativa entre os

cenários.

O nível de iluminação de referência escolhido para o sistema de iluminação artificial foi 500lux, considerando a norma NBR ISO 8995-1 (ABNT, 2013). O valor estabelecido para iluminação natural no ambiente foi 300lux, conforme explicado no capítulo 4.

Há uma incompatibilidade entre os valores requeridos para a iluminação natural e a artificial quando se planeja fazer a integração dos dois sistemas. Isto ocorre porque mesmo em um local no qual a luz natural alcança a iluminância de 300lux, se considerarmos o valor requerido para a tarefa de 500 lux para iluminação artificial, seria necessário um complemento de 200lux. A questão é que a luz natural não adquire autonomia total quando se alcança os 300lux, se considerarmos a necessidade de 500lux no plano de trabalho.

Para contornar este problema e planejar um sistema energeticamente eficiente é possível projetar o sistema de iluminação artificial dividindo-o em dois sistemas diferentes: iluminação geral e de tarefa.

A iluminação geral pode ser planejada para atingir 300lux através da distribuição regular das luminárias pelo teto, garantindo um aspecto de luz uniforme ao ambiente.

A iluminação de tarefa, neste caso, deve ser planejada para complementar a iluminação geral, localizada em cada estação de trabalho e capaz de suprir 200lux, como complemento do sistema geral de iluminação.

Assim é possível usar um sistema geral que pode ser desligado totalmente quando a iluminação natural atinge 300lux. Quando isto ocorrer, os usuários que sentirem necessidade de trabalhar com um nível mais alto de iluminação podem acionar a luz de tarefa que é mais eficiente energeticamente, pois é gerada próxima a mesma. Esta iluminação de tarefa deve ser planejada para complementar 200lux.

Cabe ressaltar que neste trabalho a iluminação artificial foi simulada como sistema geral e os valores calculados para o consumo de energia do sistema consideram o nível requerido na tarefa de 500lux.

Isto aconteceu pois percebeu-se a incompatibilidade entre os valores requeridos para a iluminação natural e a artificial em um momento mais avançado da pesquisa, quando todas as simulações já haviam sido realizadas e não havia disponibilidade de tempo para refazê-las.

Fica a sugestão acima descrita para próximos trabalhos que queiram trabalhar com a integração da iluminação natural e artificial e encontrarem como barreira a incompatibilidade entre os valores requeridos para a iluminação natural e a artificial.

Para fazer a comparação entre os cenários optou-se por transformar os dados de consumo anual que o programa disponibiliza após a simulação em kWh para valores de porcentagem de consumo em relação ao consumo do sistema todo ligado.

Apesar da iluminação artificial ter sido projetada para suprir 500lux, verifica-se uma economia de energia bastante expressiva entre os cenários aprovados e que possuem integração com a luz natural, variando de 31% a 59% do consumo total de energia (Figura 35).

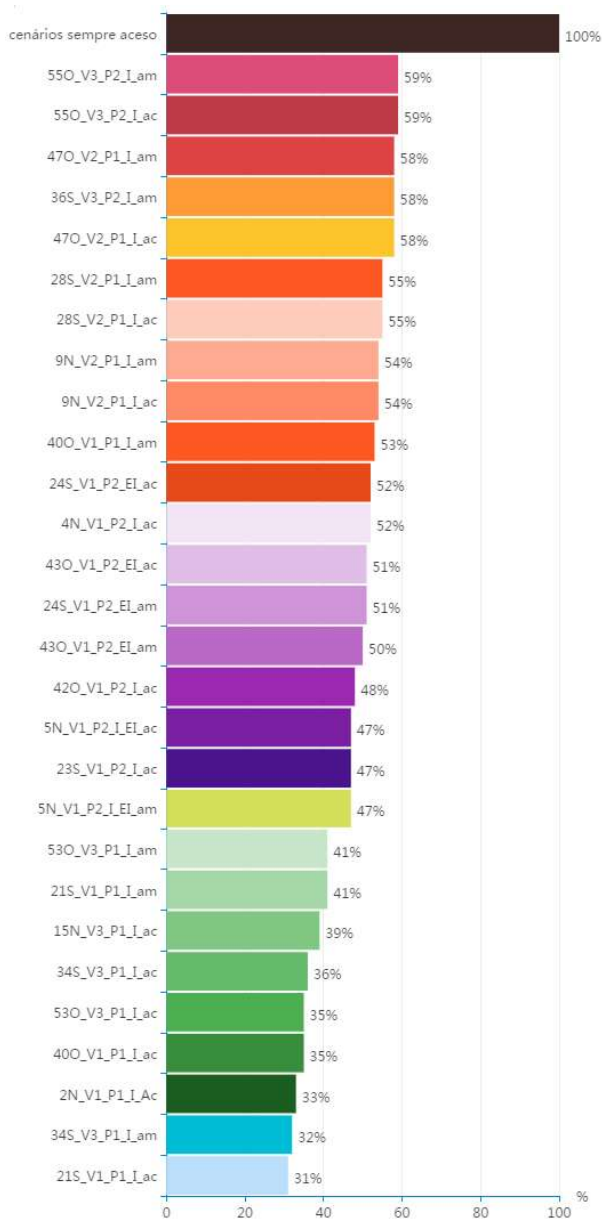


Figura 35: Gráfico do consumo do sistema de iluminação artificial, considerando os cenários aprovados.

Fonte: Autora da tese

A Figura 36 apresenta todos os cenários (aprovados e reprovados), com o consumo destes cenários variando de 31% a 98%.

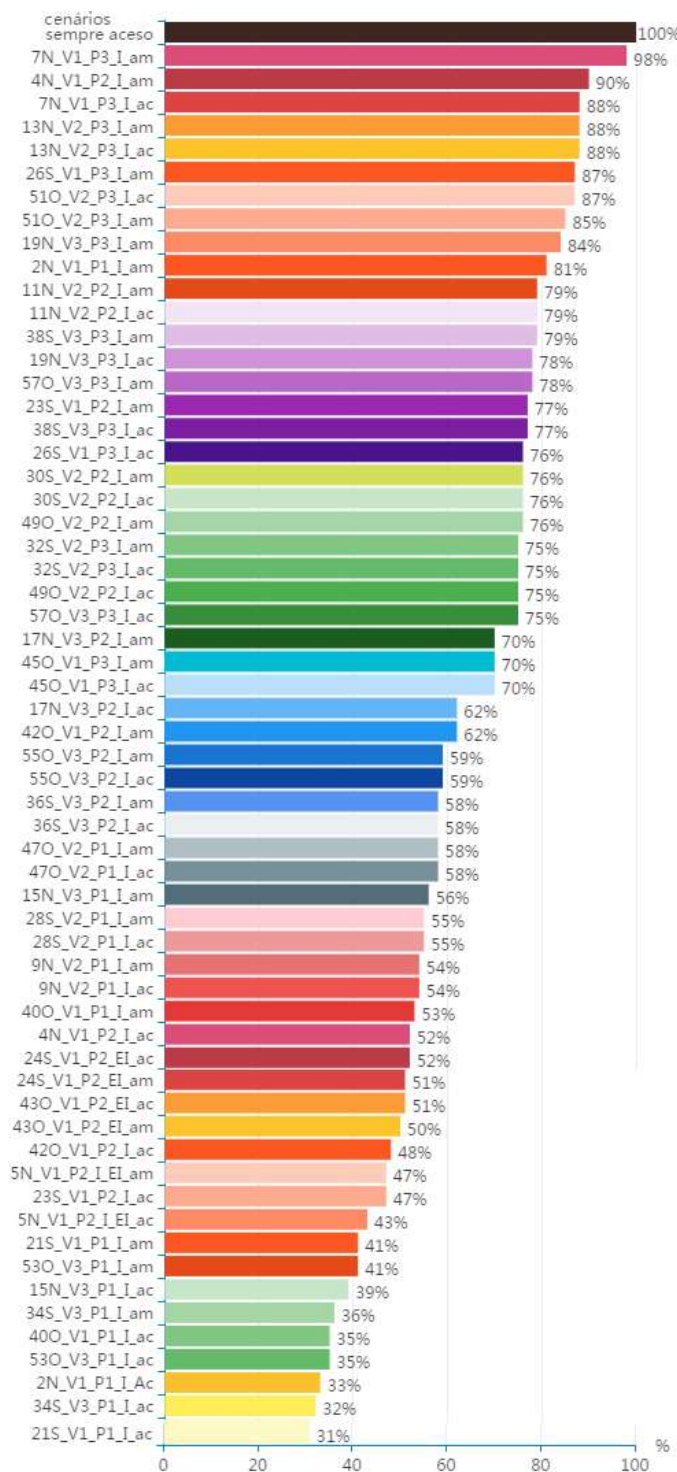


Figura 36: Gráfico do consumo do sistema de iluminação artificial, considerando todos os cenários (aprovados e reprovados).

Fonte: Autora da tese

Verifica-se que no melhor cenário (21S_V1_P1_I_ac) chegou-se a um consumo de energia de apenas 31% do consumo total. Este cenário com o menor consumo tem características propícias que favorecem a luz natural, resultando nesta economia de energia. Ele está voltado para a face Sul, tem 8m de profundidade e o acionamento da persiana é o conceitual, que representaria um sistema automático que fecha quando incide a radiação solar na fachada e abre logo após esta incidência. Com esta descrição verificamos que todas as condições do modelo são favoráveis para esta economia expressiva de energia: orientação com pouca radiação solar direta ao longo do ano, planta com pouca profundidade, e acionamento do dispositivo de sombreamento interno automatizado.

Pode-se concluir que a economia de energia devido à integração da luz natural com a artificial está intimamente relacionada com características do projeto em relação à distribuição e difusão da luz natural no ambiente ao longo do ano e tem grande influência da estratégia de controle do dispositivo de proteção solar (manual ou automatizado).

5.6 Resultado profundidade - limite da zona passiva de iluminação para os modelos avaliados

A avaliação da profundidade - limite, para a tipologia de escritório panorâmico na cidade de São Paulo, seguiu a metodologia descrita no capítulo 4, mais especificamente no item 4.3.

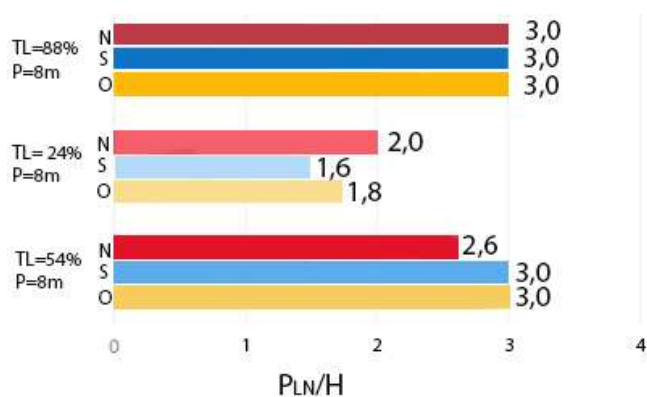
Foram encontrados os valores da relação de profundidade (P) que é igual a profundidade de alcance da luz natural (PLN), dividida pela altura da verga da janela (2,64m).

Para encontrar os valores do alcance da luz natural (PLN) utilizou-se a imagem resumo para fazer a medição da distância da fachada até o limite da zona *daylit*. A zona *daylit* proporciona 300lux para pelo menos 50% do período de ocupação. As imagens resumo dos modelos com profundidade de 8m, 12m e 21m com a medida da distância (PLN) são apresentadas no apêndice E.

Foram elaborados gráficos com os valores comparativos da relação de profundidade (P), para os modelos com profundidade de 8m, 12m e 21m (Figura 37, Figura 38, Figura 39).

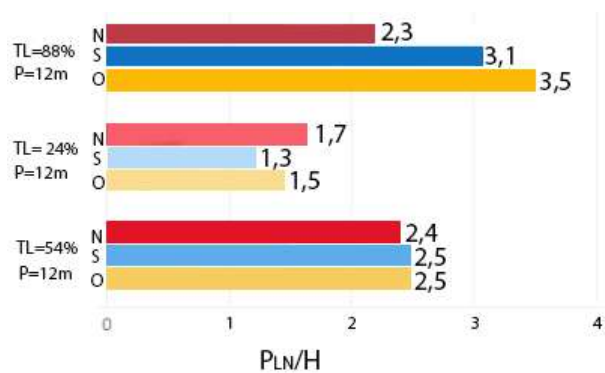
A abcissa dos gráficos apresenta os valores da relação de profundidade ($P=PLN/H$) e a ordenada apresenta a descrição dos cenários avaliados, com os valores de Transmissão luminosa (TL), Profundidade (P) e Orientações (Norte, Sul e Oeste).

Figura 37: Gráfico comparativo da relação (P) para os modelos com 8m de profundidade e acionamento conceitual.



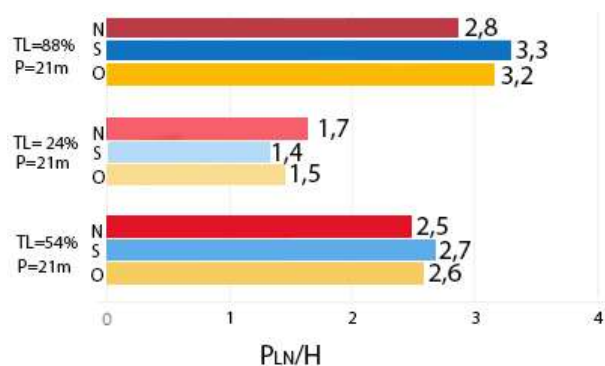
Fonte: Autora da tese

Figura 38: Gráfico comparativo da relação (P) para os modelos com 12m de profundidade e acionamento conceitual.



Fonte: Autora da tese

Figura 39: Gráfico comparativo da relação (P) para os modelos com 21m de profundidade e acionamento conceitual.



Fonte: Autora da tese

Através da análise dos gráficos é possível verificar que os valores da relação (P) variam entre 1,3 a 3,5, dependendo das variáveis consideradas nos modelos (transmissão luminosa do vidro, profundidade do ambiente e orientação).

Em todos os modelos avaliados para os vidros com transmissão Luminosa (TL) de 24% a relação de profundidade (P) variou entre os valores de 1,3 a 2,0.

Para modelos que possuíam vidros com transmissão Luminosa (TL) de 54% a relação de profundidade (P) variou entre 2,4 a 3,0.

Os modelos avaliados que possuíam os vidros com transmissão Luminosa (TL) de 88% a relação (P) variou entre 2,3 a 3,5.

A maior frequência de ocorrência dos valores da relação de profundidade (P), considerando todos os modelos avaliados está entre os valores 2,0 a 3,0 (52% da amostra total).

Na literatura internacional sobre iluminação natural é muito comum encontrar regras empíricas que sugerem como limite de profundidade da janela para níveis adequados de iluminação e boa distribuição da luz uma relação que varia entre 1,5 a 2,5 vezes a altura da verga da janela rebatida na profundidade do ambiente (O'CONNOR, 1997; ENERMODAL ENGINEERING, 2002; IESNA, 2011).

Verificamos que 70,4% da amostra, no total de 27 simulações realizadas para verificar a profundidade -limite, estão entre os valores sugeridos pelas regras empíricas (1,5 a 2,5). 29,6% da amostra apresentou valores da relação de profundidade (P) acima de 2,5, chegando ao limite máximo de 3,5. Nesta amostragem, os valores próximos ou iguais a 3,0 foram os que ocorreram com maior frequência.

Os estudos realizados indicam que há possibilidade de se chegar a uma profundidade limite (P) um pouco acima do que os valores sugeridos pelas regras empíricas (por volta de 3,0). Estas situações ocorreram principalmente nos modelos de menor profundidade (8m) e nos modelos a transmissão luminosa do vidro mais alta (88%). Alguns modelos com transmissão luminosa intermediária (54%) chagaram também a uma relação de profundidade (P) de 3,0, para os modelos com menor profundidade (8m).

Portanto é possível considerar uma profundidade-limite entre 2,5 a 3,0 vez a altura da verga da janela, para obter 300 lux no ambiente, em 50% das horas do ano, considerando o tipo de céu da cidade de São Paulo.

5.7 Considerações gerais sobre os cenários analisados com a metodologia proposta pela LM-83-12 e a metodologia proposta pela tese

As tabelas síntese foram elaboradas para a melhor compreensão dos cenários simulados em relação às categorias de disponibilidade de luz, conforto visual e energia. Nestas tabelas, alguns cenários foram selecionados para comparar a metodologia de avaliação, produto desta tese, com a metodologia de avaliação proposta pela IES LM-83-12 – *Approved Method – Spatial daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)* (IES Daylight Metrics Committee, 2013).

A IES definiu utilizar as métricas (sDA) e a (ASE) na metodologia proposta, após uma pesquisa realizada em 61 edifícios de escritório, nos quais foram realizadas entrevistas com os usuários para verificar as correlações de satisfação dos mesmos em relação aos limites superiores e inferiores das medidas de conforto lumínico.

Na metodologia da IES LM-83-12, a análise deve ser simultânea das duas métricas propostas, com o objetivo de verificar a suficiência dos níveis de luz natural (sDA), ao mesmo tempo em que se verifica o potencial risco de penetração da radiação solar direta, através da métrica (ASE).

A métrica ASE 1000,250h verifica no ambiente se há pontos que ficam expostos à radiação solar direta por mais de 250h ao ano, através da verificação de pontos que ficam expostos à iluminâncias acima de 1000 lux. Esta métrica tem o objetivo de verificar o risco potencial de ocorrer desconforto visual, devido à penetração da radiação solar direta.

Na metodologia proposta por esta tese foram selecionadas duas métricas que são os pré-requisitos para a aprovação do projeto. As métricas DA300, 50% ou sDA300, 50%, para verificar a disponibilidade de luz natural no ambiente e a métrica *Annual glare probability* (ofuscamento para um ponto crítico do ambiente) que verifica as questões de conforto visual.

Na maioria dos casos em que se comparou a aprovação dos cenários utilizando-se as duas metodologias (proposta pela tese e LM-83-12), o resultado final em relação à aprovação ou reprovação foi igual.

Em alguns cenários ocorreu que a metodologia da LM-83-12 teve como resultado a reprovação destes cenários e a metodologia da tese aprovou os mesmos. Isto aconteceu porque a métrica ASE deve ser calculada sem considerar nenhum tipo de dispositivo de proteção solar interna para bloquear a radiação solar direta. O objetivo desta métrica é descrever o “risco” ou pior cenário, considerando as condições que um ambiente pode

experimental durante as condições climáticas típicas de um ano.

Isto significa que se a edificação possui algum método avançado de controle da exposição solar, como sistemas automatizados de dispositivos de proteção solar internos, ou mesmo vidros especiais com variação da transmissão luminosa, como por exemplo os vidros eletrocromicos, estes sistemas não são considerados no cálculo.

A metodologia proposta por esta tese avalia a questão do conforto visual através da métrica *Annual Glare Probability*. Esta métrica considera os sistemas avançados de controle da radiação solar direta no seu cálculo. Por este motivo alguns cenários foram aprovados pela metodologia proposta pela tese, considerando que estes possuíam um dispositivo de sombreamento interno (persianas) que fecham sempre que há desconforto visual no ponto crítico, e reabrem assim que cessa este problema, simulando um sistema automatizado.

A metodologia proposta pela IES foi um grande avanço para verificar as condições de iluminação natural nas edificações.

Porém alguns autores vêm questionando a métrica ASE por ser muito restritiva e não considerar os sistemas dinâmicos de sombreamento (NEZAMDOOST; WYMELENBERG, 2016).

Através das comparações realizadas entre as duas metodologias, verificou-se que seria interessante que a métrica ASE, proposta pela LM-83-12 passasse por um refinamento maior, visando a inclusão de dispositivos dinâmicos de sombreamento no seu cálculo, visto que da forma como é feita a avaliação hoje, alguns cenários que tem potencial de aprovação são reprovados por desconsiderar estes sistemas dinâmicos de sombreamento.

**CAPÍTULO 6 -
CONSIDERAÇÕES FINAIS**

PARTE 4



CONCLUSÕES

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Síntese dos capítulos

O presente trabalho teve como objeto de estudo a iluminação natural em edifícios de escritório, na cidade de São Paulo. Portanto a relação entre iluminação natural e os espaços de trabalho foi a linha guia de toda a discussão apresentada na tese.

A introdução discute a importância da luz natural como premissa para uma arquitetura “mais sustentável”, tendo em vista o seu importante papel na saúde e conforto dos usuários, além de garantir uma maior eficiência energética para as edificações.

O capítulo 1 abordou as questões relativas à influência da luz natural nos espaços de trabalho que englobam assuntos relacionados à percepção da luz pelos usuários; saúde e eficiência energética. Diversas pesquisas têm demonstrado os efeitos não visuais da exposição à luz natural que incluem a produtividade, bem-estar, saúde, influência no ciclo circadiano, entre outros. Além da influência na saúde e bem-estar, a iluminação natural tem impacto no consumo de energia e interfere nos dois maiores usos finais do setor: iluminação artificial e no condicionamento ambiental.

Um dos objetivos do trabalho foi a avaliação do desempenho da iluminação natural em tipologias correntes de edifícios de escritório construídos entre os anos 2000 a 2016, na cidade de São Paulo. Optou-se por avaliar aqueles com certificação ambiental, considerando que esta é uma amostra representativa dos padrões construtivos que vêm sendo construídos na última década. O objetivo foi verificar a relação das características de projeto e a sua influência na iluminação natural no interior dos edifícios.

As certificações ambientais impõem como obrigatório a avaliação das condições de iluminação natural para que a edificação consiga a certificação. Apesar deste ponto ser uma questão primordial para a obtenção de um selo ambiental, partiu-se da premissa que muitos dos edifícios certificados não possuem uma iluminação natural adequada, considerando o conceito sugerido por Reinhart e Wienold (2011), que propõem que um projeto bem-sucedido do ponto de vista da iluminação natural deve se preocupar com a satisfação dos usuários, conforto visual e térmico, combinado a um baixo consumo energético. Esta premissa surgiu de observações, do uso e operação destes edifícios, que não apresentam condições adequadas de iluminação natural devido ao acionamento de dispositivos de proteção solar internos que ficam fechados por um longo período.

Isto ocorre porque os edifícios contemporâneos são construídos com grandes panos de vidro, sem um tratamento adequado das fachadas em termos de proteção solar e adequação climática da edificação. Há uma contradição nesta prática, pois os grandes panos de vidro que deveriam servir para captar mais a iluminação natural e proporcionar maior integração com o exterior através da visão externa do edifício, acabam tendo o efeito contrário do esperado. Isto ocorre porque a incidência de radiação solar direta no interior dos edifícios, resulta na ação dos usuários que, para evitarem o ofuscamento, acionam os dispositivos de proteção solar internos (cortinas, persianas, etc.). Este fato reduz drasticamente os níveis de iluminação interno, além de bloquear a visão externa, que é um ponto importante para o conforto dos usuários.

O método requisitado nos referenciais de certificação ambiental (LEED ou AQUA-HQE) usado para a avaliação natural das certificações dos edifícios analisados é o *Daylight Factor* (DF). Esta métrica apesar de ser a mais comum para a avaliação da iluminação natural, encontrada em diversos referenciais de certificação, diretrizes e recomendações sobre o tema em todo o mundo, tem se mostrado ineficaz na avaliação do desempenho luminoso. Uma das críticas do uso do *Daylight Factor* (DF) é que o uso desta métrica pressupõe uma avaliação para o céu encoberto, levando a um conceito de "quanto maior o DF, melhor". Portanto esta métrica não é um bom indicador de desempenho para localidades nas quais a predominância do céu não é o encoberto, considerando que é insensível à entrada da radiação solar direta, época do ano, hora do dia orientação da fachada. Este conceito na prática resulta em edifícios com grandes panos de vidro e ineficientes energeticamente (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

Para sanar as limitações das métricas estáticas que concentram a sua avaliação em apenas um tipo de céu, as pesquisas em iluminação natural avançaram através da proposição de métricas dinâmicas baseadas no clima (CBDM-*Climate-Based Daylight Metrics*). As métricas CBDM utilizam dados climáticos da localidade de implantação do projeto, considerando a disponibilidade de luz externa relacionadas às condições do sol e do céu, que são provenientes de dados meteorológicos anuais. Portanto os dados do local (dados geográficos do clima), como a orientação do edifício (efeitos da radiação solar e posição do sol) para cada fachada do edifício são considerados.

O conceito das métricas dinâmicas e métodos para a avaliação da iluminação natural foi explorado no capítulo 2 desta tese.

Através da revisão foi possível verificar que atualmente não há uma única métrica que responda a todas as questões relativas ao desempenho da iluminação natural. Cada

métrica tem o foco em um determinado aspecto da questão. Por isto é importante definir uma ou mais métricas que serão necessárias para a avaliação de desempenho.

As métricas têm as suas especificidades e sensibilidades em relação a determinados requisitos da avaliação. É necessário ter clareza sobre os objetivos de avaliação pretendidos para a escolha das métricas adequadas, assim como do método, que irá direcionar os procedimentos a serem realizados e a síntese dos dados para uma melhor compreensão do problema avaliado.

Reinhart e Wienold (2011) desenvolveram uma métrica chamada *Daylight Availability* que é uma das mais completas, pois combina a informação de duas métricas DA (*Daylight Availability*) e UDI (*Useful Daylight Illuminance*). Esta métrica mostra as áreas suscetíveis a ofuscamento com valores de iluminância elevados e as áreas com o nível de iluminação adequado em relação à luz natural, suprimindo as necessidades do ambiente exclusivamente por meio desta fonte de luz.

Através das simulações computacionais é possível obter várias métricas da iluminação. Porém este é apenas o início do trabalho de avaliação de desempenho. É necessário definir um método para sistematizar e organizar os dados obtidos, de modo a evidenciar as relações e implicações que os diversos tipos de informação têm entre si. Esta etapa no processo de avaliação é de grande importância, visto que a síntese das informações pressupõe um método de trabalho que é diferente para cada caso, de acordo com os objetivos do projeto. Não existe uma única maneira de fazer esta síntese, pois depende da particularidade de cada caso analisado.

Visando este propósito, um conceito que começou a ser difundido nas pesquisas em iluminação natural é o chamado "*Daylighting Dashboard*". Reinhart e Wienold (2011) propõem que os resultados mais importantes sejam mostrados lado a lado em um painel para sintetizar os três aspectos importantes da iluminação natural na análise de desempenho: disponibilidade de luz, conforto e energia. Estes autores também sugerem que sejam definidos os critérios de avaliação, isto é, os valores-alvo que serão utilizados para verificar se o desempenho apresentado por um determinado espaço alcança o critério mínimo de desempenho desejado.

O capítulo 3 descreveu as etapas da pesquisa que permitiram concretizar os objetivos propostos. Para analisar o desempenho da iluminação natural em tipologias correntes de edifícios de escritório construídos a partir do ano 2000 foi realizado um levantamento de dados dos edifícios de escritório certificados na cidade de São Paulo. Este levantamento foi utilizado para elaborar os modelos das simulações computacionais realizadas.

As principais variáveis analisadas nos modelos foram: a profundidade do ambiente, transmissão luminosa dos vidros, influência das orientações e de dispositivos de proteção solar externos (brises) e internos (persianas), considerando a atuação dos usuários.

As simulações foram realizadas no plug-in Diva for Rhinoceros 3D que é integrado a outros modelos de cálculo, os softwares Radiance, Daysim e Energy plus, já validados pela comunidade científica internacional.

Diversos resultados foram disponibilizados através das simulações computacionais. Para fazer o tratamento dos dados foi proposto um método de avaliação de desempenho que é um dos produtos desta tese e tem os procedimentos detalhados no capítulo 4. Este método de avaliação de desempenho compreende duas etapas principais:

- 1) Elaboração de uma tabela síntese com resultados das diferentes categorias da iluminação: disponibilidade de luz natural, conforto visual e eficiência energética
- 2) Classificação e ordenação das alternativas, segundo uma pontuação definida para analisar os cenários de forma comparativa.

Para analisar a adequação dos cenários em relação à iluminação natural foram propostos critérios de desempenho, elaborados a partir da revisão bibliográfica.

Na primeira etapa do método, após a elaboração da tabela síntese, foram definidas duas métricas que devem ser analisadas conjuntamente para verificar se o projeto foi aprovado ou reprovado. Estas duas métricas foram utilizadas como pré-requisitos de aprovação.

A metodologia proposta incluiu aspectos de avaliação considerados importantes para um projeto bem-sucedido do ponto de vista da iluminação natural: disponibilidade de luz natural, conforto visual e um baixo consumo energético da iluminação.

A segunda etapa do método proposto prevê a classificação e ordenação dos cenários de acordo com uma pontuação atribuída para cada aspecto de desempenho analisado na tabela. Desta forma foi possível fazer uma avaliação comparativa entre os cenários. Porém deve-se atentar para o fato que quando se utiliza o método de análise comparativa, nem sempre a primeira opção cumpre o objetivo de desempenho mínimo. Este cenário pode ter um desempenho inadequado, porém ele é o melhor dentre vários outros cenários com desempenho inadequado.

Para evitar esta situação, a primeira etapa do método já tem a função de selecionar os cenários avaliando o cumprimento do desempenho mínimo, estabelecido como critério de "corte", através da análise de duas métricas utilizadas como pré-requisito de aprovação do projeto. O pré-requisito consiste na avaliação de duas métricas conjuntamente, para

verificar se o projeto cumpre o mínimo necessário, em relação ao desempenho luminoso. As duas métricas usadas como pré-requisito são: a métrica *Spatial Daylight Autonomy* (sDA), que verifica a disponibilidade da iluminação ao longo do ano e a métrica *Annual Glare* (DGP), que verifica o conforto visual em um ponto crítico do ambiente.

Os resultados das avaliações do desempenho luminoso de todos os cenários foram demonstrados no capítulo 5- Estudos analíticos.

Dentre os principais resultados das simulações podemos extrair as seguintes conclusões:

- A face Sul é a que proporciona melhor desempenho da iluminação natural, para a tipologia de edifícios de escritório e latitude de São Paulo (23° 32' 51'), no caso dos modelos analisados. Isto ocorre pela menor incidência de radiação solar direta ao longo do ano nesta face, comparando-se com as outras. Por este motivo diminui a necessidade de acionamento das persianas internas, devido ao ofuscamento resultante da radiação solar direta e conseqüentemente aumenta a disponibilidade de luz natural ao longo do ano.
- O brise projetado de forma correta, isto é, visando a redução da incidência da radiação solar direta sem prejudicar a disponibilidade de luz natural interna, pode ser uma boa estratégia para a melhoria do desempenho luminoso das edificações. Este elemento pode ser utilizado em conjunto com o vidro simples, que possui a transmissão de luz visível maior (88%), evitando, desta forma, uma redução drástica dos níveis de iluminação internos. As persianas internas utilizadas em conjunto com o brise proporcionam melhores resultados, pois evitam a necessidade de projetar brises muito fechados.
- A profundidade tem grande influência na disponibilidade e alcance da luz natural no interior das edificações. Quanto menor a profundidade, maior a disponibilidade de luz natural ao longo do ano. No caso dos cenários simulados, nenhum modelo com 21m (maior profundidade) foi aprovado, pois não atingiu o pré-requisito necessário em relação à disponibilidade de luz interna.
- A escolha do vidro em relação à transmissão de luz visível deve ser feita considerando-se outras variáveis do modelo, para um melhor desempenho luminoso dos mesmos. Vidros com alta transmissão luminosa (88%) têm maior probabilidade de causar ofuscamento. Por este motivo, os cenários com os melhores desempenhos que tinham a aplicação deste vidro possuíam proteção solar externa (brise). Este dispositivo diminui o ofuscamento e aumenta a uniformidade da iluminação do ambiente, pois diminui os altos níveis de iluminação próximos às

aberturas. Vidros com transmissão luminosa muito baixa só conseguem alcançar o critério estabelecido de disponibilidade de luz natural para ambientes pouco profundos. Assim, nos modelos em que foi aplicado o vidro com 24% de (TL) só foram aprovados aqueles que possuíam profundidade de 8m. Os modelos com profundidade de 12m e 21m que tinham o vidro com TL de 24% não foram aprovados, por não cumprirem os pré-requisitos de disponibilidade de luz natural ao longo do ano.

- A integração da luz natural com a artificial resulta em economia de energia, pois reduz o consumo da iluminação artificial. A redução do consumo da iluminação artificial, para estes casos, vai variar dependendo das características do projeto. Os estudos realizados indicam que é possível chegar em uma economia de até 70% do total de consumo anual de energia do sistema de iluminação artificial.

Em relação aos projetos de escritório analisados podemos perceber pontos positivos e negativos desta nova arquitetura de edifícios certificados na cidade de São Paulo.

Como pontos positivos podemos destacar que as certificações têm incentivado uma busca constante por produtos de alta tecnologia do mercado, dentre os quais podemos citar vidros de alto desempenho térmico, sistemas ativos de condicionamento de ar mais eficientes, sistemas de automação predial que economizam energia entre outros. Porém nem todo produto de alta tecnologia tem o desempenho esperado inicialmente. Por isto é necessário sempre rever e analisar o desempenho real destas edificações, juntamente com a interação dos usuários para que haja uma evolução em futuros projetos.

Os edifícios têm se mostrado mais eficientes em relação às soluções ativas de projeto, isto é, com equipamentos de iluminação e condicionamento artificiais, de melhor desempenho.

Como pontos negativos verifica-se que o resultado final da arquitetura tem se mostrado desvinculada das questões climáticas do local de implantação dos empreendimentos. As soluções de fachadas não são pensadas para o melhor aproveitamento da iluminação natural e controle da insolação. Isto tem levado a uma generalização de soluções, com projetos que apresentam soluções de fachadas semelhantes para diferentes contextos climáticos. As soluções passivas de projeto, isto é, que não utilizam a energia elétrica, não vem sendo exploradas de forma eficiente. Busca-se uma melhoria nos sistemas ativos, porém as soluções passivas de projeto têm deixado a desejar.

Um bom projeto de arquitetura deve reduzir a demanda de sistemas ativos como o resfriamento, ventilação e iluminação artificiais aumentando as soluções, quando possível, com meios passivos como a ventilação natural, resfriamento por ventilação noturna,

iluminação natural, entre outras.

As soluções dos edifícios devem ser diferenciadas, pois cada lugar tem suas particularidades quanto aos recursos, ao clima, as demandas energéticas, ao modo de vida das pessoas.

Os sistemas de certificação para edificações constituem em um avanço na busca por um desenvolvimento sustentável na construção civil, mas não devem ser estanques, isto é, devem estar sempre evoluindo, com os seus critérios repensados, pois um edifício de menor impacto ambiental deve ter como meta uma busca constante por seu aprimoramento.

Neste sentido o método de avaliação de desempenho proposto por esta tese tem o objetivo de fomentar as discussões em relação às vantagens de migrar de métodos de avaliação da iluminação natural que usam métricas estáticas, para métodos de avaliação com o uso de métricas dinâmicas. A tese visa contribuir, desta forma, para a elaboração de referenciais de certificação, normativas e leis, guias e diretrizes técnicas que abordem a avaliação do desempenho da iluminação natural nas edificações.

Estamos entrando em uma nova fase de avaliação de desempenho da iluminação natural, em que a capacidade dos softwares de simulação da iluminação tem proporcionado inúmeras possibilidades e melhorias no sentido de disponibilizar resultados mais complexos, pois usam dados climáticos anuais e consideram a interação dos usuários para calcular os resultados. Porém, estas melhorias não isentam o projetista que está fazendo a avaliação da responsabilidade de conhecer os pontos fortes e fracos de cada métrica, pois é este profissional que deve entender o resultado da análise e fazer uma síntese final. Os resultados das simulações por si só, não representam nada se não forem interpretados corretamente por um profissional especialista na área, que consiga sintetizar os resultados possibilitando um melhor entendimento do desempenho luminoso do projeto e permitindo uma maior facilidade em comunicar os resultados para os clientes e pessoas não especialistas na área.

Por fim, cabe ressaltar que a avaliação do projeto da iluminação natural baseada apenas em métricas é uma abordagem muito limitada, visto que o sucesso de espaços naturalmente iluminados é decorrente não somente do atendimento às necessidades das funções nele pretendidas ou realizadas, mas também da fruição do espaço arquitetônico, proporcionado pela visão das formas, contornos, jogos de luz e sombra. Portanto o projeto da iluminação natural além de uma ciência, na qual podemos quantificar valores de forma objetiva é uma arte que envolve o despertar dos sentidos dos usuários destas edificações.

6.2 Comprovação da Tese

A tese partiu da hipótese que nem todos os edifícios de escritório com certificação ambiental na cidade de São Paulo, construídos entre os anos 2000 a 2016 e que se enquadram dentro das tipologias predominantes, atendem de modo satisfatório as condições de iluminação natural, segundo as recomendações hoje em vigor.

As recomendações hoje em vigor propõem que um projeto bem-sucedido do ponto de vista da iluminação natural deve assegurar a satisfação dos usuários, conforto visual e térmico, combinado a um baixo consumo energético (REINHART e WIENOLD, 2011). Deve-se avaliar o desempenho da iluminação natural considerando as questões de disponibilidade de luz natural, conforto visual e economia de energia, juntamente com a influência dos usuários, que interferem na admissão da luz através do acionamento dos dispositivos de proteção solar internos

A hipótese foi comprovada através de uma metodologia de avaliação do desempenho da luz natural proposta por esta tese. Foram elaborados 87 modelos computacionais que representam o padrão arquitetônico de construção das edificações, considerando dados como profundidade e transmissão luminosa dos vidros.

A hipótese mostrou-se válida, pois 52 cenários, que correspondem a 60% do total, foram reprovados em relação ao desempenho luminoso por não atingirem os parâmetros mínimos necessários. Apenas 35 cenários foram aprovados em relação ao desempenho da iluminação natural, isto é, 40 % da amostra total. Este fato foi demonstrado no capítulo 5 desta tese.

Os cenários para serem aprovados deveriam seguir os critérios abaixo estabelecidos:

- A disponibilidade de luz natural deve ser no mínimo 300lux durante 50% do período de ocupação para 55% da área do ambiente.
- Ofuscamento máximo permitido deve estar entre o intervalo de $0 < 11\%$.

Verificou-se que os cenários com maior profundidade (21m) foram todos reprovados por não garantirem suficiência de luz natural ao longo do ano. O vidro com menor transmissão da luz visível foi aprovado apenas para os cenários com menor profundidade (8m), sendo reprovado para todos os outros cenários com profundidade de 12m e 21m. Vários cenários que possuíam acionamento manual foram reprovados pois dependendo do horário que incidia a radiação solar direta, as persianas ficavam fechadas por um longo período, diminuindo a disponibilidade de luz natural interna.

6.3 Limitações do Trabalho

Podemos apontar os seguintes pontos como limitação desta pesquisa:

- Não foi avaliada a influência das obstruções externas nas simulações de desempenho da iluminação natural.
- Não foi avaliado o impacto do desempenho térmico dos componentes e a sua influência na eficiência energética.
- A integração da iluminação natural com a artificial limitou-se ao sistema de controle elétrico com a dimerização total.
- Os elementos de proteção solar externos estudados são iguais para a fachada Norte e Sul. Para a fachada oeste, o brise proposto tem uma pequena variação do ângulo alfa. Portanto não foram avaliados diferentes tipos de proteção solar externas, nem proteções solares externas automatizadas.
- As avaliações dos modelos com proteção solar externos foram realizadas apenas para os modelos com 12m de profundidade e 88% de transmissão da luz natural.
- A avaliação foi realizada apenas para uma localidade, a cidade de São Paulo.

6.4 Produtos da Pesquisa

Todos os objetivos propostos por esta pesquisa foram atendidos, conforme demonstra o quadro síntese abaixo:

Quadro 3: Quadro síntese dos objetivos

	Objetivos	Procedimento Metodológico	Resultados
Objetivo geral	Definição de diretrizes e procedimentos para elaborar a avaliação do desempenho luminoso do projeto de iluminação natural para edifícios de escritório do tipo panorâmico, localizados na cidade de São Paulo, visando à economia de energia e o conforto visual dos usuários.	1)Revisão bibliográfica 2)Simulações computacionais 3) Elaboração de uma tabela síntese 4)Ordenação e classificação dos cenários	Metodo de avaliação da iluminação natural para edifícios de escritórios proposto por esta tese. Ver capítulo 4

	Objetivos	Procedimento Metodológico	Resultados
Objetivos específicos	Elaboração de modelos de referência que representem a tipologia de edifícios de escritório, construídos em São Paulo a partir do ano 2000, para avaliação da iluminação natural	1)Revisão bibliográfica 2)Levantamento das características construtivas de edifícios com certificação ambiental LEED e AQUA, construídos a partir do ano 2000	Modelo referencial descrito no capítulo 3 desta tese
	Definição de critérios de desempenho luminoso	Revisão bibliográfica	Elaboração dos critérios de desempenho utilizados nas avaliações como valores-alvo (<i>benchmark</i>) a serem atingidos. Ver capítulo 4
	Avaliação de desempenho da iluminação natural em tipologias correntes de edifícios de escritório construídos a partir do ano 2000, na cidade de São Paulo.	1)Simulações computacionais 2) Elaboração de uma tabela síntese 3)Ordenação e classificação dos cenários 4) Conclusões	Simulação dos cenários e conclusões gerais sobre a influência do padrão construtivo na iluminação natural dos modelos avaliados, descrito no capítulo 5 desta tese
	Determinação da zona passiva de iluminação para a tipologia de escritórios panorâmicos, no contexto climático da cidade de São Paulo.	1)Simulação computacional. 2) Utilização da imagem resumo para medir distância da profundidade da fachada até a zona Daylit. 3)Verificação da relação de profundidade (P).	Determinação da zona passiva de iluminação, demonstradas através de gráficos com a a relação de profundidade (P). Ver capítulo 5 desta tese

Fonte: Autora da tese

6.5 Desdobramento futuros

Com base na pesquisa realizada, considerando as oportunidades e lacunas para o aprimoramento do tema, sugerem-se como trabalhos futuros os seguintes tópicos:

- Aplicação da metodologia proposta por esta tese em casos reais, considerando a presença das obstruções externas
- Realizar pesquisas de campo para verificar o padrão de penetração solar em diversas orientações, considerando a latitude da cidade de São Paulo e comparar com a

escala de tolerância máxima⁶⁰ permitida para a penetração da radiação solar em espaços de trabalho, proposta pelo documento IES LM- 83-12. Esta verificação deve ser feita considerando a análise técnica do pesquisador e o voto dos usuários.

- Realizar pesquisas de campo, com o voto dos usuários, para verificar se o limite de 3000lux, que atualmente é usado na métrica UDI como valor máximo a partir do qual há probabilidade de ocorrer ofuscamento, pode ser aumentado para cidades alta disponibilidade de luz natural, como o caso da cidade de São Paulo.
- -A maior difusão do uso das métricas dinâmicas de iluminação dinâmicas depende da obtenção de dados climáticos para 8760h do ano, em todas as cidades do território nacional. Como não há estações climatológicas em todas as cidades é necessário fazer um mapeamento para verificar as localidades que podem utilizar dados climáticos medidos em cidades mais próximas. Este levantamento deve ser feito considerando a proximidade de latitude e tipo de nebulosidade de céu. Além do mapeamento é necessário o tratamento dos dados com ajustes necessários para que representem o fenômeno nas localidades em que os dados não foram medidos.

⁶⁰ Tempo aceitável para ocorrência da penetração solar em horas ao longo do ano

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M.S C.; AMORIM, C. N. D. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2012. **Anais...** Porto Alegre: 2012, v. 12, n. 2, p. 37-57. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212012000200004&script=sci_abstract&lng=es>. Acesso em: 01 jan. 2013.

ALUCCI, M. P. **Manual Para Dimensionamento de Aberturas e Otimização da Iluminação Natural na Arquitetura**. São Paulo: FAUUSP, 2006. 84p.

_____. **TAO: Uma metodologia para implantação de edificação. Ênfase no desempenho térmico, acústico, luminoso e energético**. 2007. 145p. Tese (Livre-docência) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/16/tde-13082010-110954/pt-br.php>> Acesso em: 21 maio 2015

AMARAL, F. G. et al. Melatonin synthesis impairment as a new deleterious outcome of diabetes-derived hyperglycemia. **Journal of Pineal Research**, v. 57, n. 1, p. 67-79, 2014.

AMORIM, C.N.D. **Diagrama Morfológico Parte I –Instrumento de análise e projeto ambiental com uso da luz natural**. In: PARANOÁ: cadernos de arquitetura e urbanismo. Ano 6, n.3 (agosto 2007), p.57-76. 2007.

ANDERSEN, M. et al. An intuitive daylighting performance analysis and optimization approach. **Building Research & Information**, v.36, n.6, p.593-607, 2008

ANDERSEN, M.; MARDALJEVIC, J.; LOCKLEY, S. W. A framework for predicting the non-visual effects of daylight-Part I: Photobiology-based model. **Lighting Research Technology**, v. 44, p. 37-53, 2012.

ARAUJO, A. P. de. **Conheça sete funções da serotonina no organismo**. 2013. Disponível em < <http://www.minhaveria.com.br/saude/galerias/13437-conheca-sete-funcoes-da-serotonina-no-organismo>>

ARIES, M.B.C; VEITCHJ.A.; NEWSHAM G. R. Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. **Journal of Environmental Psychology**, v. 30, n.4, p.533-541, 2010.

ASSIS, R.M.C. **Caracterização ótica em materiais transparentes e sua relação com o Conforto Ambiental**. 1998. 174p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em :< <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000132438&fd=y>> Acesso em: 18 jan. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15215-1: Iluminação Natural - Parte 1: conceitos básicos e definições**. Rio de Janeiro, 2005a.

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

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

_____. **NBR 15215-3: Iluminação Natural - Parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos.** Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 15215-4: Iluminação Natural - Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações.** Rio de Janeiro, 2005d.

_____. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior.** Rio de Janeiro, 2013.

BACKER, N.V.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K.A. (editors). **Daylighting in Architecture: A European Reference Book. Publicado pela Commission of European Communities.** James & James: London, 1993.

BAKER, N. ; STEEMERS, K. **Daylight design of buildings.** London: James and James Editors, 1998.

BAKSHI, A.; JAKUBIEC, J. A. A Simple Cost-Benefit Estimation For Daylighting Design And Analysis During The Design Process. In: 12th International IBPSA Conference, Building Simulation 2011, 2011, p. 593-600. **Anais eletrônicos...** Sydney:IBPSA, 2011. Disponível em: < http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2011/p_1278.pdf>. Acesso em set. 2016

BARBOSA, C. V. T. **Percepção da iluminação no espaço da arquitetura: preferências humanas em ambientes de trabalho.** 2010. 247p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BASSO, R. L.R. **Plano diretor de iluminação urbana do centro histórico de São Paulo: uma nova ambiência e atmosfera para os calçadões.** 2008. 215 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-26112010-150644/pt-br.php>> Acesso em: 5 maio 2015.

BEDROSIAN T.A. et al. Nocturnal Light Exposure Impairs Affective Responses in a Wavelength-Dependent Manner. **The Journal of Neuroscience**, v. 33, n. 32, p. 13081-13087, 2013. Disponível em: < <http://www.jneurosci.org/content/33/32/13081.full.pdf+html>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

BELLIA, L.; BISEGNA, F.; SPADA, G. Lighting in indoor environments: Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions. **Building and Environment**, v. 46, n. 10, p. 1984-1992, 2011.

BENEDETO, G.S. **Avaliação da aplicação do modo misto na redução da carga térmica em edifícios de escritório nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e

Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.203 p. Disponível em :<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-17052010-113943/pt-br.php>>. Acesso em: 04 maio 2013.

BERSON DM, DUNN FA, Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. **Science**, Washington, V. 295, n.5557, p.1070-1073, 2002.

BERTOLOTI, Dimas. **Iluminação Natural em Projetos de Escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia**. Dissertação (mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-19092007-141031/pt-br.php>>. Acesso em: 15 dez. 2014

BOYCE, P. R., 2003. **Human Factors in Lighting**. 2nd ed. London and New York: Taylor & Francis

BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLETT, O. **The benefits of daylight through windows**. Lighting Research Center, v. 1, n. 1, p. 1-88, 2003. Disponível em :<<http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylightdividends/pdf/DaylightBenefits.pdf>> Acesso em: 19 jan. 2015.

BOYCE, P.R. **Why Daylight?** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DAYLIGHTING TECHNOLOGIE FOR ENERGY EFFICIENCE IN BUILDINGS, 1998. Ontario, Canada.

BRUAND, Y. **Arquitetura Contemporânea no Brasil**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2000, 3ª edição

BRUNDTLAND, G. H. (EDITOR). **Our Common Future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford University Press. 398 p. 1987.

CALDEIRA, V. Os ambientes de trabalho. **AU - Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, n. 133, abr. 2005. Mensal. Disponível em: <<http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/133/intersecao-22713-1.aspx>>. Acesso em: 1 fev. 2015.

CAMPOS, N. L. F. **Desempenho Térmico e Lumínico de Edificação Pública sob a ótica do RTQ-C em Cuiabá, MT**. 2012.179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

CARLO, J. C. **Processamento de Arquivos Climáticos para a Simulação do Desempenho Energético de Edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 228 p. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2016.

CARLO, J.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R. Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência energética para o código de obras do Recife. In: X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC 2004) E I CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CLACS 04), 2004. **Anais eletrônicos...** Disponível em <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0370d.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2015.

CAVALCANTE, R. de C. D. **Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho**. 2010. 135 f. Dissertação (mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-01062010-144907/en.php>>. Acesso em: 01 fev. 2015.

CHRISTAKOU, E. D. **A simulação computacional da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura**. 2004. 134p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/5484/1/evangelos_dimitrios.pdf>. Acesso em: 03 abril 2014

CIPOLLA-NETO, J. et al. Melatonin, energy metabolism, and obesity: A review. **Journal of Pineal Research**, v. 56, n. 4, p. 371-381, 2014.

CLARO, A. **Modelo vetorial esférico para radiosidade aplicado à iluminação natural**. Florianópolis, 1998. Tese (Doutorado) Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CRAWLEY, D. B. Which weather data should you use for energy simulations of commercial buildings? **ASHRAE Transactions**, v. 104, n.2, p.498-515, 1998.

DIDONÉ, E. L. **A Influência da Luz Natural na Avaliação da Eficiência Energética de Edifícios Contemporâneos de Escritórios em Florianópolis**. 2009. 174 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DIDONÉ E. L.; PEREIRA, F.O.R. **Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações**. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Porto Alegre: v. 10, n. 4, p. 139-154, out. /dez. 2010.

_____. O potencial da luz natural na economia de energia elétrica para a iluminação artificial. **Revista Tecnológica**, p.24-34, 2009. Disponível em: <<http://infoscience.epfl.ch/record/153393/files/Preliminary%20Method%20for%20Prospective%20analysis.pdf>>

DILONARDO, L. F. S. **Avaliação do uso de tecnologias passivas visando à eficiência energética em edifícios de escritório**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001

DUFFY, J. F.; WRIGHT, K. P. Entrainment of the human circadian system by light. **Journal of biological rhythms**, v. 20, n. 4, p. 326-338, 2005.

DUTRA, Luciano. (1994). Uma Metodologia para Determinação do Fator Solar Desejável em Aberturas. Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil, CTC, UFSC.

EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. **A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants**. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2002. 58 p.

Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/30769.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

ELETRABRÁS. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: sumário executivo- ano base, 2005.** Eletrobrás, 2007. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço energético Nacional 2014- ano base 2013.** Rio de Janeiro, EPE, 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 10 março 2015.

ENERMODAL ENGINEERING. **Daylighting Guide for Canadian Commercial Buildings.** Public Works & Government Services: Canadá, 2002. Disponível em :<<https://www.greenglobes.com/advancedbuildings/Daylighting%20Guide%20for%20Canadian%20Buildings%20Final6.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

FANCHIOTTI, A.; AMORIM, C. **Daylighting in commercial buildings: the use of new components and design solutions to optimize visual comfort and energy efficiency.** In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE-BUILDING SIMULATION, 7, 2001, Rio de Janeiro

FEIJÓ, M.A. de S. **Diretrizes para implantação de uma Regulamentação Energética para a iluminação Natural em Edifícios de escritório.** 2009. 350p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERNANDES, J. T.; AMORIM, C.N.D.; VILELA, T; CAPANEMA, B. Avaliação da Iluminação Natural e Desempenho Energético do Instituto de Química da UNB para propostas de retrofit da envoltória. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído- **Anais...** Canela: ENTAC, 2010. Disponível em; <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/591.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

FERNANDES, J.T. **Qualidade da Iluminação Natural e o Projeto Arquitetônico: a relação da satisfação do usuário quanto à vista exterior da janela e a percepção de ofuscamento.** 2016. 344p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo).- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (PPG-FAU/UnB), Brasília.

FIGUEIREDO, E. C. de. **Peles de Vidro. Otimização do desempenho da luz natural difusa em fachadas envidraçadas.** 2016. 191p. Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. Disponível em <<http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/2881>>. Acesso em: 15 nov. 2016

FIGUEIREDO, C. **Ventilação Natural em Edifícios de Escritório na Cidade de São Paulo: Limites e Possibilidades.** 2007. 221p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em :< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-20052010-112144/pt-br.php>>. Acesso em: 05 out. 2014.

FIGUEIRÓ, M. A Luz e a sua relação com a saúde. **Lume**, São Paulo, v. 8, n. 44, jun. 2010.

FONSECA R. W da. **Iluminação natural e consumo energético de edificações não residenciais: aplicação de redes neurais artificiais**. 2015. 457p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FONSECA R. W da; PEREIRA, F. O. R. Método para a avaliação da contribuição da iluminação natural na redução do consumo energético em edifícios não- residenciais utilizando redes neurais artificiais . In: III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo arquitetura, cidade e projeto: uma construção coletiva. **Anais...**São Paulo: p. 1-18, 2014.

FONSECA, I.; BARBOSA, E.; ALVAREZ, A.; PORTO, M. Arquitetura moderna e conforto ambiental nos trópicos – diretrizes aplicáveis as casas de Lucio Costa na Gávea, Rio de Janeiro. 8º Seminário DOCOMOMO Brasil, Rio de Janeiro, 2009. **Anais eletrônico...** Disponível em: < <http://www.docomomo.org.br/seminario%208%20pdfs/043.pdf>> Acesso em: 13 abril 2016.

Fundação Vanzolini e CERWAY. **Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental do Edifício - Edifícios Não Residenciais**. 2016. Disponível em < <http://vanzolini.org.br/aqua/referencias-e-guias/>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

GHISI, E.; TINKER, J. A. An ideal window area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**, v. 40, n. 1, p 51-60, jan. 2005

GHISI, E; TINKER, J. A. Potencial de economia de energia em iluminação através da utilização de fibras ópticas. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: v 4, fasc. 3, 2004. p.61-77.

GHOSHAL, S. Intelligent sensors enable environmentally aware and responsive lighting. **Illumination in Focus**, v. winter2013, p.24-28, 2013. Disponível em:< http://www.ledsmagazine.com/content/dam/iif/past-issues/2013/12/IIF_Winter_2013.pdf>. Acesso em: 16 jan.2017

GONÇALVES, J. C. S.; UMAKOSHI, E. M. **The Environmental Performance of Tall Buildings**. London: Earthscan, 2010. 352p.

GUTIERREZ, G.; LABAKI, L. **Considerações sobre o brise-soleil na arquitetura moderna brasileira**. Anais... Maceió: ENCAC-ELECAC, n. 19, p. 874-881, 2005.

HESCHONG MAHONE GROUP. **Daylight Metrics**. Interest Energy Research (pier) Program. Relatório Técnico. Califórnia: California Energy Commission, 2012. 377 p. Disponível em: <<http://www.energy.ca.gov/2012publications/CEC-500-2012-053/CEC-500-2012-053.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2016.

HESCHONG, L. Daylighting and human performance. *ASHRAE Journal*, v. 44, n. 6, p. 65-67, 2002.

_____. **Windows and offices: A study of office worker performance and the indoor environment**. Relatório Técnico. Fair Oaks, California: Heschong Mahone Group, 2003. 143 p. Disponível em: <http://h-mg.com/downloads/Daylighting/A-9_Windows_Offices_2.6.10.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2014.

IES DAYLIGHT METRICS COMMITTEE. **IES LM-83-12, Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York (NY): Illuminating Engineering Society, 2012.

IESNA - ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA **RP-5-13, Recommended Practice for Daylighting Buildings**. 1 ed. Nova Iorque, NY: Illuminating Engineering Society, 2013a.v. único, 75p.

_____. **The Lighting Handbook Reference and Application**. 10th edition. New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America, 2011.

INANICI, M. N.; GALVIN, J. **Evaluation of High Dynamic Range photography as a luminance mapping technique**. (2004) Paper LBNL-57545. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley (CA). Disponível em: < <http://faculty.washington.edu/inanici/Publications/LRTPublished.pdf> >. Acesso em: 05 fev. 2016.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. F. DIVA 2.0: Integrating daylight and thermal simulations using rhinoceros 3D, DAYSIM and EnergyPlus. **Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association**, n. January, p. 2202–2209, 2011.

JAKUBIEC, J.; REINHART, C. The “adaptive zone” - A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. **Lighting Research and Technology**, v. 44, n. 2, p. 149–170, 2012.

KLEINDIENST, S; BODART, M.; ANDERSEN, M. Graphical representation of climat-based daylight performance to support architectural design. **Leukos**, v.5, n.1, p.1-28, 2008

LAM, W.MC. **Sunlight as Formgivers for Architecture**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura. [3.ed.]** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/livros> >. Acesso em: 07 dez. 2014.

LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. Projeto Tecnologias para Construção Habitacional mais Sustentável: Documento Levantamento do estado da arte: Energia. Projeto Finep 2386/04. São Paulo, 2007. Disponível em: < https://issuu.com/gcolombo/docs/levantamentodoestadodaarte_energia_94pg >. Acesso em: 07 maio 2015.

LEHRL, S. et al. Blue light improves cognitive performance. **Journal of Neural Transmission**, v. 114, n. 4, p. 457–460, 2007.

LESLIE, R.P.; RADETSKY, L.C.; SMITH, A.M. Conceptual design metrics for daylighting. **Lighting Research Technology**, v. 44, p. 277–290, 2012.

LIMA, K. M. **Avaliação de sistemas de janela para suporte a decisões de projeto quanto à iluminação e uso de energia**. 2016. 186p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)- Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-30062016-105936/pt-br.php> >. Acesso em: 10 set. 2016.

LIMA, T. B. S.; CHRISTAKOU, E. D. **Projeto de iluminação natural: ferramentas para cálculo e avaliação**. Paranoá (UnB), v.3, n.7, p. 49-57, 2007. Disponível em: < <http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/12110/8493>>. Acesso em: 24 ago. 2015

MARCONDES, M. P. **Soluções projetuais de fachadas para edifícios de escritórios com ventilação natural em São Paulo**. 2010. 244p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-10112010-102255/pt-br.php>>. Acesso em: 01 jan. 2014.

MARDALJEVIC, J. Climate - Based Daylight Modelling and Its Discontents. In: CIBSE Technical Symposium,2015, Londres. **Anais...** Londres: CIBSE,2015. p.1-12.

_____. **Daylight Simulation: validation, sky models and daylight coefficients**. Tese (Doutorado) – Institute of Energy and Sustainable Development of Montfort University, Leicester, Uk, 1999.

_____. Spatio-temporal dynamics of solar shading for a parametrically defined roof system. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 8, pp. 815-823, 2004. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804000271>>. Acesso em: 10 set. 2016.

MARDALJEVIC, J.; ANDERSEN, M. Prescribing for Daylight: Can we account for the Disparate Measures within a unified modelling framework? **Proceedings of EXPERIENCING LIGHT 2012: International Conference on Effects of Light on Wellbeing**, p.1-5, 2012

MARDALJEVIC, J.; HESCHONG L.; LEE E. Daylight metrics and energy savings. **Lighting Research and Technology**, v 41,3, p. 261-283, 2009

MARTAU, B, T. **A luz além da visão: iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e de shopping centers em Porto Alegre**. 2009. 504p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000440980>. Acesso em: 25 jan.2015

MILLET, M. S. **Light Revealing Architecture**. New York: Van Nostrand Reinhold Co, 1996

MOON P.; SPENCER D. E. Illumination form a non-uniform sky. *Illum. Engineering*. New York: v. 37, p.707– 726, 1942

MOORE F. **Concepts and practice of architectural daylighting**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

MOORE, F. **Concepts and practice of architectural daylighting**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

MÜNCH, M. et al. **Wavelength-dependent effects of evening light exposure on sleep architecture and sleep EEG power density in men**. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, v. 290, n. 5, p. R1421–R1428, 2006. Disponível em: <http://www.chronobiology.ch/wpcontent/uploads/publications/2006_05.pdf>

NABIL A, MARDALJEVIC J. Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors. **Energy and Buildings**, v. 38, n.7, p. 905–913, jul. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/245196963_Useful_daylight_illuminances_A_replacement_for_daylight_factors>. Acesso em: 03 ago. 2014.

_____. Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings. **Lighting Research and Technology**. v.37, n.1, p.41–59, 2005.

NEZAMDOOST,A.; WYMELENBERG, K.G. V. D. Revisiting the Daylit Area: Examining Daylighting Performance Using Subjective Human Evaluations and Simulated Compliance with the LEED Version 4 Daylight Credit. **LEUKOS**, p. 1-17, 2016

O'CONNOR, J. et al. **Tips for Daylighting with Windows**. Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997. LBNL report 39945.

OLIVEIRA, L.B.DE. **A invenção da Luz Moderna**. 2010. 212p. Tese de Doutorado apresentada Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-27022013-124632/pt-br.php>>. Acesso em 26 abr. 2016.

PECHACEK, C. S.; ANDERSEN, M.; LOCKLEY, S. W. Preliminary Method for Prospective Analysis of the Circadian Efficacy of (Day) Light with Applications to Healthcare Architecture. **LEUKOS**, v. 5, p. 1–26, 2008. Disponível em: <<http://infoscience.epfl.ch/record/153393/files/Preliminary%20Method%20for%20Prospective%20analysis.pdf>>. Acesso em: 04 junho 2015.

PEREIRA, D. C. L.; MUELLER, C. M. Iluminação e Sustentabilidade: a integração entre luz natural e artificial. **Lume Arquitetura**, São Paulo, v.26, p. 28 - 35, 01 jul. 2007. Disponível em: <http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed26/ed_26_Especial.pdf>

PEREIRA, É. F.; ANACLETO, T. S.; LOUZADA, F. M. **Interação entre sincronizadores fóticos e sociais: repercussões para a saúde humana**. Revista da Biologia, v. 9, n. 3, p. 68–73, 2012.

PESSOA, J. L. N.; GHISI, E. **Nota Técnica referente à eficiência luminosa de produtos LED encontrados no mercado brasileiro**. Florianópolis: Cb3e- Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, 2013. 17 p. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/Nota-Tecnica-LEDs.pdf>>. Acesso em: 04 maios 2015.

PESSOA, J.; GHISI, E; LAMBERTS, R. **Estado da arte em eficiência energética: iluminação e envoltória**. Florianópolis: Cb3e- Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, 2013. Disponível em: <[http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/EstadoArteIluminacaoEnvoltoria_31072013\(2\).pdf](http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/EstadoArteIluminacaoEnvoltoria_31072013(2).pdf)> Acesso em: 20 jun. 2015

PETERSON, N. L. **The Space Between Research and Practice: A Critical Evaluation of Computer-Based Lighting Metrics**. 2015. 94p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - University of Washington, Washington, 2015. Disponível em <<https://digital.lib.washington.edu/researchworks/handle/1773/33446>>. Acesso em: 21 ago. 2016.

PINTO, S. R. **Análise das condições de iluminação das bibliotecas públicas municipais na cidade de São Paulo: diretrizes para um melhor aproveitamento da**

luz natural e redução do uso da iluminação artificial. 2008. 659 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura)- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-13012010-152836/pt-br.php>>. Acesso em: jun. 2014

PIRRÓ, L. S. O. **Impacto das Envolventes Verticais no Desempenho Energético dos Edifícios de escritório.** 2005. Tese (Doutorado em tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RASHID, M.; ZIMRING, C. A Review of the Empirical Literature on the Relationships Between Indoor Environment and Stress in Health Care and Office Settings: Problems and Prospects of Sharing Evidence. **Environment and Behavior**, v. 40, n. 2, p. 151-190, 2008.

RASMUSSEN, H. F.; VANGELOGLOU, E. Evaluation of Daylight in Buildings in the Future. **Rehva Journal**, n. October, p. 35-40, 2015.

REA, MS. Window Blind Occlusion: A Pilot Study. **Building and Environment**, v.19, n.2, p.133-137, 1984

REINHART, C. F. Daylight performance predictions. In:HENSEN, J.; LAMBERTS, R. (Coords.). **Building Performance Simulation for Design and Operations.** Nova Torque: Spoon Press, 2011. Cap.9, p.235-276

_____. **Daylighting Handbook: fundamentals, designing with the sun.** USA: Ria Stein, 2014. 199p.

_____. Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices. In: ACE3 2002 SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS, 2002. **Anais...** Pacific Grove, CA, USA, p.1-12, 2002.

_____. Lightswitch-2002: A model for manual and automated control of electric lighting and blinds. **Solar Energy**, v. 77, n. 1, p. 15-28, 2004.

_____.Opinion: Climate-based daylighting metrics in LEEDv4 – A fragile progress. **Lighting Research & Technology**, vol. 47, 4: pp. 388, jun. 2015. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1477153515587613>>. Acesso em: 20 fev. 2016

_____. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design.** Canadá, Ottawa: Institute for Research in Construction- National Research Council, Canadá, 2006. Disponível em <<http://web.stanford.edu/group/narratives/projects/charette/Tutorials/DaysimTutorial.pdf>> Acesso em: 28 jan. 2015

REINHART, C. F.; ANDERSEN M. Development and validation of a Radiance model for a translucent panel. **Energy and Buildings**, v. 38, n.7, p. 890-904, 2006.

REINHART, C. F.; JAKUBIEC, J. A. **Overview and Introduction to DAYSIM and Current Research Developments.** 11º International Radiance Workshop Copenhagen, 2012. Disponível em <https://www.radiance-online.org/community/workshops/2012->

copenhagen/Day1/Jakubiec/jakubiec,reinhart_radiance-workshop-presentation_daysim.pdf. Acesso em: 05 abr.2016.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC J.; ROGERS Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **LEUKOS**, v. 3, n. 1, p.7-31, jul. 2006. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001>>. Disponível em 5 out. 2015.

REINHART, C. F.; RAKHA, T.; WEISSMAN, D. Predicting the Daylit Area—A Comparison of Students Assessments and Simulations at Eleven Schools of Architecture, **LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, v. 10, n. abril 2015, p. 193-206, 2014.

REINHART, C. F.; VOSS K. Monitoring Manual Control of Electric Lighting and Blinds. **Lighting Research & Technology**, v.35, n.3, p. 243-260, 2003.

REINHART, C. F.; WALKENHORST, O. **Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds**. Energy and Buildings, v. 33, n. 7, p.683-697, set. 2001. Elsevier BV. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778801000585>>. Acesso em: 9 jan. 2016.

REINHART, C. F.; WEISSMAN, D. A. The daylit area e Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. **Building and Environment**, v. 50, p. 155–164, 2012.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylit spaces. **Building and Environment**, v.46, n.2, p.386 396,2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/222517181_The_daylighting_dashboard_-_A_simulation-based_design_analysis_for_daylit_spaces>. Acesso em: 28 abr. 2016

ROCHA, A.P. de A. **Caracterização do zoneamento da Iluminação Natural e sua Influência no Controle da Iluminação Artificial**. 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ROGERS, Z. **Daylighting metric development using daylight autonomy calculations in the sensor placement optimization tool**. Boulder, Colorado, USA: Architectural Energy Corporation, 2006. Disponível em <<http://www.archenergy.com/SPOT/download.html> >. Acesso em 5 ago.2016

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. 2012. Relatório elaborado como parte das atividades do grupo constituído no âmbito da ANTAC. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/sobre_epw.pdf> Acesso em: 02 jan. 2017.

RUPP, R. F. **Dimensionamento de área de janela em edificações comerciais: integração da iluminação natural com a artificial e utilização da ventilação híbrida**. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. -Florianópolis, SC, 2011. 212 p.: il.

RUPP, R.F.; GHISI, E. Potencial de economia de energia elétrica através do uso da luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis. **Ambiente Construído**, v.13, n.4, p.75-86, 2013.

SAXENA, M. et al. **Office Daylighting Potential**. California Energy Commission, 2011. (Publication Number: CEC-500-2013-002). Disponível em: <http://h-m-g.com/DaylightPlus/Office_daylight.htm>. Acesso em: 06 jun. 2016.

SILVA, M. L. **Luz, Lâmpadas e Iluminação**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA., 2004

SOARES, R. Melanopsina: a proteína que dá corda ao nosso relógio biológico. **Ciência hoje**, 2009. Disponível em: <<http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=35939&op=all>> Acesso em: 22 julho 2015

SOUZA, D. F.; SCARAZZATO, P.S. **Estudos e Avaliações Pós-Ocupação da Iluminação no Espaço Construído através de Imagens HDR e Câmeras Digitais Compactas**. In: Sigradi 2009 - Congresso Iberoamericano de Gráfica Digital, 2009, São Paulo. Sigradi 2009, 2009. p. 443-445.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. 2003, 208f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

UBBELOHDE, M. S.; HUMANN, C. **Comparative Evaluation of four daylighting software programs**. Bearkley, CA: 1998. Disponível em: <<http://www.coolshadow.com/downloads/ACEE%20daylighting.pdf>>. Acesso em: 04 Sept. 2010.

UMAKOSHI, E. M. **Uma Visão Crítica do Edifício Alto Sob a Ótica da Sustentabilidade**. 2008. 272 f. Dissertação (Mestrado em tecnologia da Arquitetura) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-23032010-110531/pt-br.php>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

USGBC (United States Green Building Council). **Green Building Rating System for New Construction and Major Renovation (LEED-NC) VERSION 2.1**. 2002. Disponível em < <http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEEDv2.1RS%204-8-03.pdf>>. Acesso em março 2016

USGBC (United States Green Building Council). **Green Building Rating System For New Construction & Major Renovations VERSION 2.2**. 2005. Disponível em <<http://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs1095.pdf>> Acesso em: 5 março 2016.

USGBC (United States Green Building Council). **LEED 2009 for Core & Shell Development Rating System**. 2008. Disponível em < <http://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs5544.pdf>>. Acesso em: 5 março 2016

VARTANIAN, G.V et al. **Melatonin Suppression by Light in Humans Is More Sensitive Than Previously Reported**. **Journal of Biological Rhythms** , 2015. Disponível em: < http://ala-laurila.biosci.helsinki.fi/content/refs/vartanian_et_al_2015.pdf> Acesso em: 12 julho 2015

VEITCH, J.A., NEWSHAM, G.R. **Determinants of lighting quality I: State of the Science.** Journal of the Illuminating Engineering Society 27 (1), 92-106, 1998

VIANNA, N. S. **Iluminação: Conceitos e Projetos.** São Paulo: OSRAM, 2008

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J.C. S. **Iluminação e Arquitetura.** 1. ed. São Paulo: Virtus s/c Ltda., 2001. v. 1.

WALDRAM P. J. **A Measuring Diagram for Daylight Illumination.** Londres: B T Batsford Ltd, 1950.

WIENOLD, J.; CHRISTOFFERSEN, J. **Evaluation methods and development of a new glare prediction method for daylight environments with the use of CCD cameras.** Energy and Buildings, V.38, N.7, p. 743-757, 2006

WESTPHAL, FERNANDO SIMON. **Vidros especiais e eficiência energética em edificações.** 4º ECOS – Encontro sobre Construção e Sustentabilidade SINDUSCON –GO. Goiânia, 2015. Disponível em <
http://www.sinduscongoias.com/ecos2/palestras/SindusconGO-2015_FernandoWestphal_v2.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2016

WIENOLD, J. Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis. **IBPSA 2007 - International Building Performance Simulation Association 2007**, p. 1197-1204, 2007.

_____. Dynamic daylight glare evaluation. In: ELEVENTH INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE: BUILDING SIMULATION, 2009. **Anais...** Glasgow: 2009. p.944-951. Disponível em:< http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_0944_951.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

APENDICE A- LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DOS EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO COM CERTIFICAÇÃO LEED E AQUA DA CIDADE DE SÃO PAULO

O fichamento da amostra dos edifícios avaliados pode ser acessado no link abaixo:

<https://drive.google.com/drive/folders/0B4W7vzzkHyeCWIZSc1NGN3JnZ0U?usp=sharing>

Os dados sistematizados destes fichamentos aparecem nas Tabela 45 e Tabela 46.

APÊNDICES

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

Tabela 45: Características construtivas dos escritórios com certificação Leed e AQUA em São Paulo

Logradouro	Edifício	Certificação	Projeto	Data	Nº DE ANDARES	Metragem do andar	pé-direito	Profundidade	Porcentagem de aberturas/WWR				Vidro	
									1	2	3	4	TL	FS
1. Nações Unidas 14171	Rochavera Corporate Towers - Torre A	LEED CS	Aflalo e Gasperini e PURA Arquitetura	2008	16	varia entre 1642 e 1976 m ²	2,8m	varia de 11,40 a 21,20m	64%	61%	64%	61%	24%	36%
2. Nações Unidas 14171	Rochavera Corporate Towers - Torre B	LEED CS	Aflalo e Gasperini e PURA Arquitetura	2007	16	varia entre 1642 e 1976 m ²	2,8m	varia de 11,40 a 21,20m	64%	61%	64%	61%	24%	36%
3. Av. Nações Unidas, 14717	Rochavera Corporate Towers - Torre C	LEED CS	Aflalo e Gasperini e PURA Arquitetura	2010	30	varia entre 1629 e 1909m ²	2,8	varia de 11,40 a 21,20m	61%	61%	64%	64%	24%	36%
4. Avenida Dr. Chucrê Zaidan, 960	Rochavera Corporate Towers - Torre D	LEED CS	Aflalo e Gasperini e PURA Arquitetura	2010	7	varia entre 1642 e 1976m ²	2,8	11,50m	59%	59%	59%	59%	24%	36%
5. Av. das Nações Unidas, 8501	Eldorado Business Tower	LEED CS	Aflalo e Gasperini e PURA Arquitetura	2007	32	varia 1961 a 2004m ²	3,0	12m	40%	40%	40%	40%	70%	35%
6. Avenida das Nações Unidas 7815	WTorre Nacoés Unidades 1	LEED CS	Edo Rocha	2008	13	1443,7 m	2,7	13,50m	45%	45%	45%	45%		
7. Avenida das Nações Unidas 7815	WTorre Nacoés Unidades 2	LEED CS	Edo Rocha	2008	11	1002m ²	2,70m	10,45m	45%	45%	45%	45%		
8. Avenida Presidente Juscelino Kubitschek	WTorre JK - Torre São Paulo	LEED CS	Orbi, Arquitectonica e Planservice	2009	28	2973m ²	2,8m	14,0m	54%	54%	54%	54%	12%	25%
9. Av. Chedid Jafet, 131	WTorre JK - Torre II	LEED CS	Orbi, Arquitectonica e Planservice	2012	21	1207,67m ²	2,8	12,9	90%	90%	90%	90%	12%	25%
10. Rua Surubim, 373	Edifício Jatoba	LEED CS	Aflalo e Gasperini	2010	8	1600m ²	2,8	10,9	86%	40%	86%	40%		
11. Avenida Engenheiro Luís Carlos Berrini,	Eco Berrini	LEED CS	Aflalo e Gasperini	2011	31	1900m ²	2,7	11,5m	56%	56%	56%	56%	22%	36%
12. Av. Paulista, 901,	Comendador Yerchanik Kissajikian - CYK	LEED EB_OM	Carlos Villar	2003	18	1.100m ² a 1300m ²	2,8	10m	60%	60%	60%	60%	22%	
13. RUA LEOPOLDO COUTO MAGALHAES, 700	INFINITY	LEED CS	KPF e Aflalo & Gasperini arquitetos	2012	18	1850 a 2000m ²	3,15	11,5	100%	87%	100%	87%	35%	38%
14. Av. Brig. Faria Lima x Rua Horácio Lafer X Rua Aspásia x Rua	Pátio Victor Malzoni	LEED CS	Botti Rubin Arquitetos Associados	2011	19 blocos A e B 11 Pav e bloco C	3700m ² bloco B e 1800m ² bloco A	3,0	varia entre 12,50 a 22,30	53%	53%	53%	53%	19%	31%

APÊNDICES

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

Fonte: Autora da tese

Tabela 46: Características construtivas dos escritórios com certificação Leed e AQUA em São Paulo

Logradouro	Edifício	Certificação	Projeto	Data	N° DE ANDARES	Metragem do andar	PÉ. direito	Profundidade	Fachadas: orientação/WWR				Vidro		
									1	2	3	4	TL	FS	
Rua Henri Dunant, 1383 - Vila S. Francisco	Morumbi Corporate Golden Tower	LEED CS	Afilalo & Gasperini	2014	25	1500m2	2,8	varia de 8,6 a 10,9m						35%	27%
Rua Henri Dunant, 1383 - Vila S. Francisco	Morumbi Corporate Diamond Tower	LEED CS	Afilalo & Gasperini	2014	17	1500 m2	2,8	varia de 12,2 a 14,4m						35%	27%
Rua Diogo Moreira, 17184	Atrium Faria Lima	LEED CS	Afilalo e Gasperini	2012	13	750 A 815m2	2,8	12,95m	83%	83%	83%	83%	29%		37%
18 4181, Faria Lima Ave.	FL17	LEED CS	Botti Rubin Arquitetos Associados	2014	16	1.037,72 m2 a 1.145,86	2,8	10,80 a 12,5	69%	69%	69%	69%			
Rua Dr. José Aureo Bustamante, 455	Morumbi Business Center	LEED CS	Afilalo & Gasperini	2012	12	890m2	2,7	10,5	60%	60%	60%	60%			
Rua Ministro Jesuino Cardoso, 436 X Rua Ferreira De Sousa	THE ONE	LEED CS	Itamar Berezin	2012	10	1200m2	2,8	9,18 m	61%	61%	61%	61%			
Avenida Brigadeiro Slaviero	Edifício Alvino Slaviero	LEED CS	Edo Rocha Arquitetura e Planejamento	2012	12	492 m²	2,7	8,7m	41%	41%	41%	41%			
Avenida Nações Unidas 22393	Headquarters Torre Paulista	LEED CS	KOM Arquitetura	2013	12	1692,74 a 1.353,44m2	2,75	9,8m	53%	53%	53%	53%			
Avenida Nacoes Unidas 22939	Headquarters Torre Brigadeiro	LEED CS	KOM Arquitetura	2013	12	1118,05m2	2,75	9,80m	53%	53%	53%	53%			
Av. das Nações Unidas, 14.400	Torre Office Parque da Cidade	AQUA	Afilalo & Gasperini	2015	26	700m2		7,37m	79,0%	79,0%	79,0%	79,0%			
Av. Magalhães de Castro, 4800	Cidade Jardim Corporate Center - Park Tower	AQUA	Pablo Slemenson	2012	23	740 a 830m2	2,75	8,15 a 10,42m	56%	56%	56%	56%			
Av. Magalhães de Castro, 4800	Cidade Jardim Corporate Center - Capital Building	AQUA	Pablo Slemenson	2012	27	530 a 635 m2	2,75	5,75 a 11,58m	56%	56%	56%	56%			
Av. Magalhães de Castro, 4800	Cidade Jardim Corporate Center - Continental Tower	AQUA	Pablo Slemenson	2012	27	1650 a 1920m2	2,75	10,90 a 13,50	56%	56%	56%	56%			
Rua Henri Dunant, 28 846	HENRI DUNANT - TORRE 1B	AQUA	Königsberger Varnucchi	2013			2,85	5,74m	0	40%	0	40%			

Fonte: Autora da tese

Apêndice B

PONTUAÇÃO DOS CENÁRIOS

APÊNDICES

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

Apêndice B - Pontuação dos cenários

Tabela 47: Pontuação dos cenários da Face Norte

Escritório Face Oeste								Reprovado	Aprovado
Cenários	1) sDA 300lux (50%)	b) NDI	c) UDI <100-2000lux>	d) "Overlit area"	e) Ofuscamento	f) Visão externa	Pontuação final		
39O_V1_P1_S	3 82%	0 42%	2 80%	0 40%	-1 43%	2 100%	6	R	
40O_V1_P1_I_am	2 55%	0 26%	0 58%	1 29%	3 0%	1 57%	7	A	
40O_V1_P1_I_ac	3 94%	1 56%	2 80%	0 38%	2 6%	1 65%	9	A	
41O_V1_P2_S	3 75%	1 47%	2 80%	0 28%	-1 40%	2 100%	7	R	
42O_V1_P2_I_am	1 17%	0 23%	1 65%	0 14%	1 12%	0 42%	3	R	
42O_V1_P2_I_ac	2 63%	0 41%	2 83%	0 27%	2 8%	2 79%	8	A	
43O_V1_P2_EI_am	2 59%	1 49%	2 97%	3 10%	3 0%	2 100%	13	A	
43O_V1_P2_EI_ac	2 59%	1 49%	2 97%	3 10%	3 0%	2 100%	13	A	
44O_V1_P3_S	0 40%	0 24%	0 50%	0 16%	-1 23%	2 100%	1	R	
45O_V1_P3_I_am	0 24%	0 13%	0 28%	1 11%	3 2%	1 60%	5	R	
45O_V1_P3_I_ac	0 27%	0 14%	0 38%	0 13%	2 7%	1 63%	3	R	
46O_V2_P1_S	1 51%	0 40%	2 100%	0 11%	2 9%	2 100%	7	A	
47O_V2_P1_I_am	1 44%	0 35%	2 100%	3 9%	3 3%	2 85%	11	A	
47O_V2_P1_I_ac	1 44%	0 35%	2 100%	3 9%	2 8%	2 85%	10	A	
48O_V2_P2_S	0 30%	0 23%	1 61%	3 7%	2 8%	2 100%	8	R	
49O_V2_P2_I_am	0 27%	0 21%	0 59%	3 7%	3 3%	2 87%	8	R	
49O_V2_P2_I_ac	0 27%	0 20%	0 57%	3 7%	2 6%	2 87%	7	R	
50O_V2_P3_S	-1 18%	0 12%	0 35%	3 6%	2 7%	2 100%	6	R	
51O_V2_P3_I_am	-1 18%	0 13%	0 33%	3 3%	3 0%	2 89%	7	R	
51O_V2_P3_I_ac	-1 17%	0 13%	0 34%	3 4%	3 0%	2 92%	7	R	
52O_V3_P1_S	3 100%	2 70%	2 81%	0 30%	1 10%	2 100%	10	A	
53O_V3_P1_I_am	3 97%	2 77%	2 80%	1 20%	3 3%	2 85%	13	A	
53O_V3_P1_I_ac	3 98%	2 77%	2 84%	0 21%	2 7%	2 87%	11	A	
54O_V3_P2_S	2 54%	0 35%	2 90%	0 19%	2 10%	2 100%	8	A	
55O_V3_P2_I_am	1 50%	0 37%	2 90%	0 13%	2 7%	2 84%	7	A	
55O_V3_P2_I_ac	1 51%	0 37%	2 92%	0 14%	2 7%	2 85%	7	A	
56O_V3_P3_S	0 32%	0 20%	0 45%	0 12%	1 12%	2 100%	3	R	
57O_V3_P3_I_am	0 28%	0 20%	0 41%	3 8%	3 2%	2 82%	8	R	
57O_V3_P3_I_ac	0 30%	0 22%	0 45%	3 8%	3 1%	2 85%	8	R	

Fonte: Autora da tese

APÊNDICES

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

Tabela 48: Pontuação dos cenários da Face Sul

Escritório Face Oeste								Reprovado	Aprovado
Cenários	1) sDA 300lux (50%)	b) NDI	c) UDI <100-2000lux>	d) "Overlit area"	e) Ofuscamento	f) Visão externa	Pontuação final		
390_V1_P1_S	3 82%	0 42%	2 80%	0 40%	-1 43%	2 100%	6	R	
400_V1_P1_I_am	2 55%	0 26%	0 58%	1 29%	3 0%	1 57%	7	A	
400_V1_P1_I_ac	3 94%	1 56%	2 80%	0 38%	2 6%	1 65%	9	A	
410_V1_P2_S	3 75%	1 47%	2 80%	0 28%	-1 40%	2 100%	7	R	
420_V1_P2_I_am	1 17%	0 23%	1 65%	0 14%	1 12%	0 42%	3	R	
420_V1_P2_I_ac	2 63%	0 41%	2 83%	0 22%	2 8%	2 79%	8	A	
430_V1_P2_EI_am	2 59%	1 49%	2 97%	3 10%	3 0%	2 100%	13	A	
430_V1_P2_EI_ac	2 59%	1 49%	2 97%	3 10%	3 0%	2 100%	13	A	
440_V1_P3_S	0 40%	0 24%	0 50%	0 16%	-1 23%	2 100%	1	R	
450_V1_P3_I_am	0 24%	0 13%	0 28%	1 11%	3 2%	1 60%	5	R	
450_V1_P3_I_ac	0 27%	0 14%	0 38%	0 13%	2 7%	1 63%	3	R	
460_V2_P1_S	1 51%	0 40%	2 100%	0 11%	2 9%	2 100%	7	A	
470_V2_P1_I_am	1 44%	0 35%	2 100%	3 9%	3 3%	2 85%	11	A	
470_V2_P1_I_ac	1 44%	0 35%	2 100%	3 9%	2 9%	2 85%	10	A	
480_V2_P2_S	0 30%	0 23%	1 61%	3 7%	2 8%	2 100%	8	R	
490_V2_P2_I_am	0 27%	0 21%	0 59%	3 7%	3 3%	2 87%	8	R	
490_V2_P2_I_ac	0 27%	0 20%	0 57%	3 7%	2 6%	2 87%	7	R	
500_V2_P3_S	-1 18%	0 12%	0 35%	3 6%	2 7%	2 100%	6	R	
510_V2_P3_I_am	-1 16%	0 13%	0 33%	3 3%	3 0%	2 89%	7	R	
510_V2_P3_I_ac	-1 17%	0 13%	0 34%	3 4%	3 0%	2 92%	7	R	
520_V3_P1_S	3 100%	2 70%	2 81%	0 30%	1 10%	2 100%	10	A	
530_V3_P1_I_am	3 97%	2 77%	2 80%	1 20%	3 3%	2 85%	13	A	
530_V3_P1_I_ac	3 98%	2 77%	2 84%	0 21%	2 7%	2 87%	11	A	
540_V3_P2_S	2 54%	0 35%	2 90%	0 19%	2 10%	2 100%	8	A	
550_V3_P2_I_am	1 50%	0 37%	2 90%	0 13%	2 7%	2 84%	7	A	
550_V3_P2_I_ac	1 51%	0 37%	2 92%	0 14%	2 7%	2 85%	7	A	
560_V3_P3_S	0 32%	0 20%	0 45%	0 12%	1 12%	2 100%	3	R	
570_V3_P3_I_am	0 28%	0 20%	0 41%	3 8%	3 2%	2 82%	8	R	
570_V3_P3_I_ac	0 30%	0 22%	0 45%	3 8%	3 1%	2 85%	8	R	

Fonte: Autora da tese

APÊNDICES

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

Tabela 49: Pontuação dos cenários da Face Oeste

Escritório Face Oeste								Requerimento Aprovado
Cenários	1) sDA 300lux (50%)	b) NDI	c) UDI <100-2000lux>	d) "Overlit area"	e) Ofuscamento	f) Visão externa	Pontuação final	
390_V1_P1_S	3 82%	0 42%	2 80%	0 40%	-1 43%	2 100%	6	R
400_V1_P1_I_am	2 55%	0 26%	0 58%	1 29%	3 0%	1 57%	7	A
400_V1_P1_I_ac	3 94%	1 56%	2 80%	0 38%	2 6%	1 65%	9	A
410_V1_P2_S	3 75%	1 47%	2 80%	0 28%	-1 40%	2 100%	7	R
420_V1_P2_I_am	1 17%	0 23%	1 65%	0 14%	1 12%	0 42%	3	R
420_V1_P2_I_ac	2 63%	0 41%	2 83%	0 22%	2 8%	2 79%	8	A
430_V1_P2_EI_am	2 59%	1 49%	2 97%	3 10%	3 0%	2 100%	13	A
430_V1_P2_EI_ac	2 59%	1 49%	2 97%	3 10%	3 0%	2 100%	13	A
440_V1_P3_S	0 40%	0 24%	0 50%	0 16%	-1 23%	2 100%	1	R
450_V1_P3_I_am	0 24%	0 13%	0 28%	1 11%	3 2%	1 60%	5	R
450_V1_P3_I_ac	0 27%	0 14%	0 38%	0 13%	2 7%	1 63%	3	R
460_V2_P1_S	1 51%	0 40%	2 100%	0 11%	2 9%	2 100%	7	A
470_V2_P1_I_am	1 44%	0 35%	2 100%	3 9%	3 3%	2 85%	11	A
470_V2_P1_I_ac	1 44%	0 35%	2 100%	3 9%	3 8%	2 85%	10	A
480_V2_P2_S	0 30%	0 23%	1 61%	3 7%	2 8%	2 100%	8	R
490_V2_P2_I_am	0 27%	0 21%	0 59%	3 7%	3 3%	2 87%	8	R
490_V2_P2_I_ac	0 27%	0 20%	0 57%	3 7%	2 6%	2 87%	7	R
500_V2_P3_S	-1 18%	0 12%	0 35%	3 6%	2 7%	2 100%	6	R
510_V2_P3_I_am	-1 16%	0 13%	0 33%	3 3%	3 0%	2 89%	7	R
510_V2_P3_I_ac	-1 17%	0 13%	0 34%	3 4%	3 0%	2 92%	7	R
520_V3_P1_S	3 100%	2 70%	2 81%	0 30%	1 10%	2 100%	10	A
530_V3_P1_I_am	3 97%	2 77%	2 80%	1 20%	3 3%	2 85%	13	A
530_V3_P1_I_ac	3 98%	2 77%	2 84%	0 21%	2 7%	2 87%	11	A
540_V3_P2_S	2 54%	0 35%	2 90%	0 19%	2 10%	2 100%	8	A
550_V3_P2_I_am	1 50%	0 37%	2 90%	0 13%	2 7%	2 84%	7	A
550_V3_P2_I_ac	1 51%	0 37%	2 92%	0 14%	2 7%	2 85%	7	A
560_V3_P3_S	0 32%	0 20%	0 49%	0 12%	1 12%	2 100%	3	R
570_V3_P3_I_am	0 28%	0 20%	0 41%	3 8%	3 2%	2 82%	8	R
570_V3_P3_I_ac	0 30%	0 22%	0 45%	3 8%	3 1%	2 85%	8	R

Fonte: Autora da tese

Apêndice C- Resultados das simulações - Métricas da Iluminação Natural

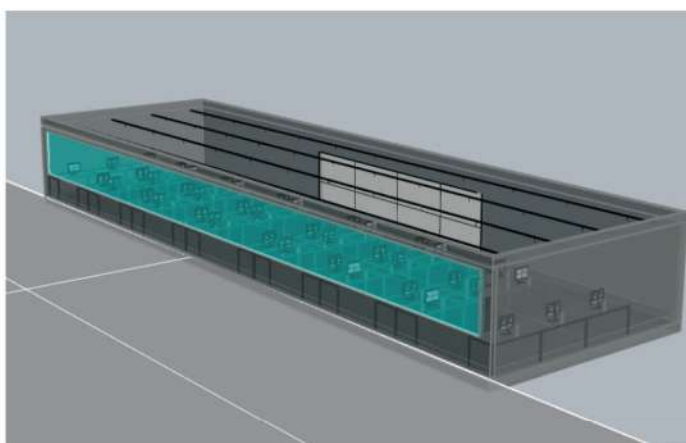
As imagens das simulações dos cenários com as seguintes métricas da iluminação natural (DA, *Daylight Availability*, cDA, UDI<100, UDI100-300, UDI>3000) podem ser acessados através do link abaixo:

<https://drive.google.com/drive/folders/0B4W7vzzkHyeCNVFzUnIwUXFfaEE?usp=sharing>

Segue abaixo os resultados dos cenários dos modelos 1 e 2, para exemplificar a apresentação destes resultados.

Figura 40: Características dos modelos 1 e 2

Modelos 1 e 2



Características Gerais:

MODELO 1: sem proteção solar interna e externa

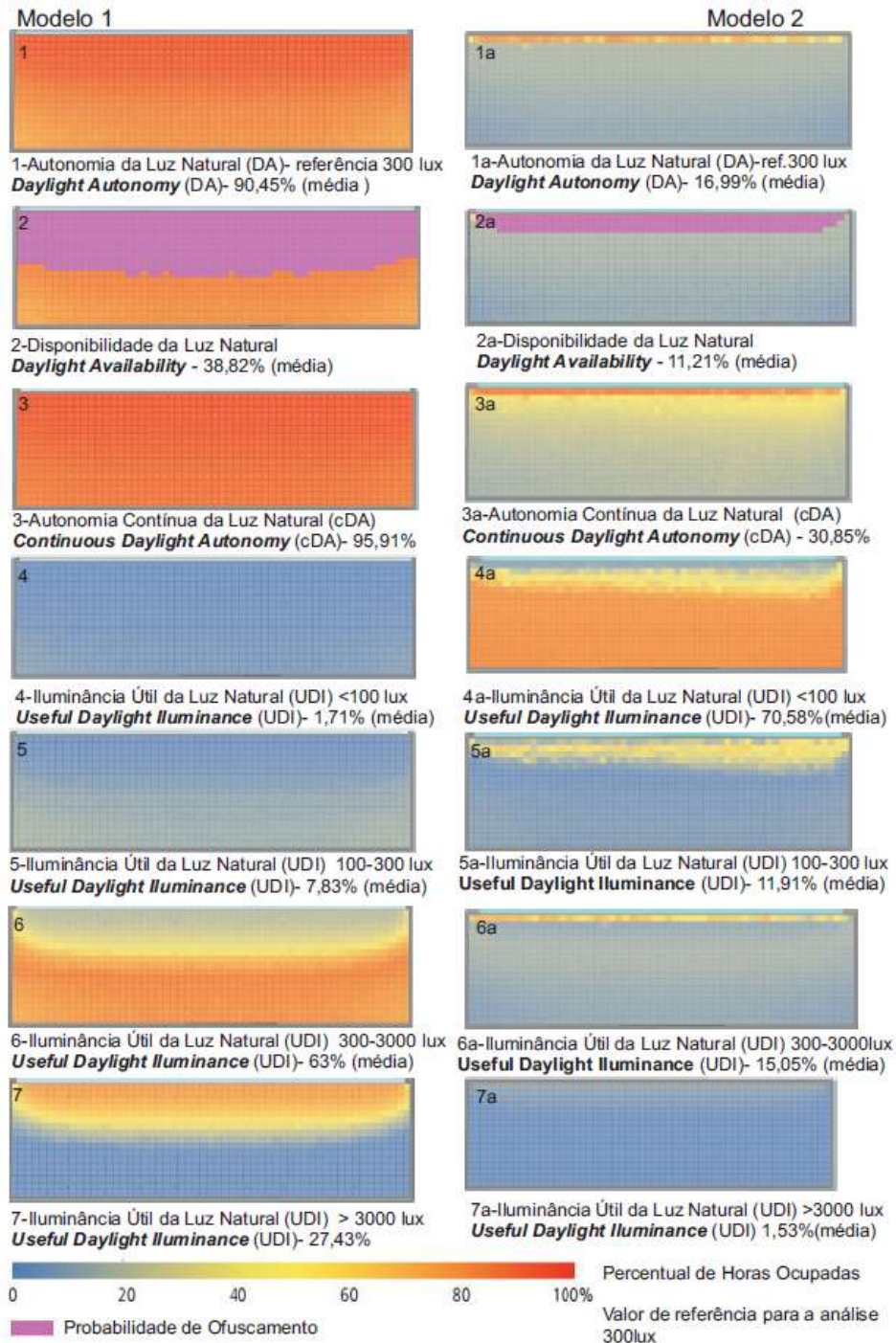
Face Norte
WWR 60%
Transmissão Luminosa do Vidro= 88%
Profundidade= 8m
Refletâncias Teto/ Parede/ Piso= 80%/ 50%/20%
Arquivo de Simulação: 1N_V1_P1_S

MODELO 2: com proteção solar interna (persiana)
Acionamento manual

Face Norte
WWR 60%
Transmissão Luminosa do Vidro= 88%
Profundidade= 8m
Refletâncias Teto/ Parede/ Piso= 80%/ 50%/20%
Arquivo de Simulação: 2N_V1_P1_I_am

Fonte: Autora da tese

Figura 41: Simulações das métricas DA, Daylight Availability, cDA e UDI para os modelos 1 e 2



Fonte: Autora da tese

Apêndice D

APÊNDICES

Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para avaliação do desempenho luminoso

Apêndice D- classificação dos cenários reprovados

Tabela 50: Classificação dos cenários reprovados

	Pontuação final	Profundidade e transmissão luminosa	Face	Cenários	1) sDA 300lux (50%)	b) NDI	c) UDI <100-2000lux>	d) "Overlit area"	e) Ofuscamento	f) Visão externa	reprovado
36	11	12m/ TL=54%	S	36S_V3_P2_I_ac	1	0	2	3	3	2	R
37	10	8m/ TL=54%	N	14N_V3_P1_S	3	2	2	0	1	2	R
38	9	8m/ TL=88%	S	20S_V1_P1_S	3	2	2	0	0	2	R
39	8	12m/ TL=24%	O	48O_V2_P2_S	0	0	1	3	2	2	R
40	8	12m/ TL=24%	O	49O_V2_P2_I_am	0	0	0	3	3	2	R
41	8	21m/ TL=54%	O	57O_V3_P3_I_am	0	0	0	3	3	2	R
42	8	21m/ TL=54%	O	57O_V3_P3_I_ac	0	0	0	3	3	2	R
43	8	12m/ TL=24%	S	29S_V2_P2_S	0	0	0	3	3	2	R
44	8	12m/ TL=24%	S	30S_V2_P2_I_am	0	0	0	3	3	2	R
45	8	12m/ TL=24%	S	30S_V2_P2_I_ac	0	0	0	3	3	2	R
46	8	21m/ TL=54%	S	37S_V3_P3_S	0	0	0	3	3	2	R
47	8	21m/ TL=54%	S	38S_V3_P3_I_am	0	0	0	3	3	2	R
48	8	21m/ TL=54%	S	38S_V3_P3_I_ac	0	0	0	3	3	2	R
49	7	12m/ TL=88%	O	41O_V1_P2_S	3	1	2	0	-1	2	R
50	7	12m/ TL=24%	O	49O_V2_P2_I_ac	0	0	0	3	2	2	R
51	7	21m/ TL=24%	O	51O_V2_P3_I_am	-1	0	0	3	3	2	R
52	7	21m/ TL=24%	O	51O_V2_P3_I_ac	-1	0	0	3	3	2	R
53	7	12m/ TL=88%	S	22S_V1_P2_S	3	1	2	0	-1	2	R
54	7	21m/ TL=24%	S	31S_V2_P3_S	-1	0	0	3	3	2	R
55	7	21m/ TL=24%	S	32S_V2_P3_I_am	-1	0	0	3	3	2	R
56	7	21m/ TL=24%	S	32S_V2_P3_I_ac	-1	0	0	3	3	2	R
57	7	12m/ TL=88%	N	3N_V1_P2_S	3	1	2	0	-1	2	R
58	7	8m/ TL=54%	N	15N_V3_P1_I_am	0	0	2	1	3	1	R
59	7	12m/ TL=24%	N	11N_V2_P2_I_am	0	0	0	3	3	1	R
60	7	12m/ TL=54%	N	16N_V3_P2_S	2	0	2	0	1	2	R
61	6	8m/ TL=88%	O	39O_V1_P1_S	3	0	2	0	-1	2	R
62	6	21m/ TL=24%	O	50O_V2_P3_S	-1	0	0	3	2	2	R
63	6	21m/ TL=88%	S	26S_V1_P3_I_ac	0	0	0	1	3	2	R
64	6	21m/ TL=24%	N	12N_V2_P3_S	0	0	0	3	1	2	R
65	6	21m/ TL=54%	N	19N_V3_P3_I_am	-1	0	0	3	3	1	R
66	6	21m/ TL=54%	N	19N_V3_P3_I_ac	0	0	0	3	2	1	R
67	5	21m/ TL=88%	O	45O_V1_P3_I_am	0	0	0	1	3	1	R
68	5	12m/ TL=88%	S	23S_V1_P2_I_am	-1	0	0	3	3	0	R
69	5	21m/ TL=88%	S	26S_V1_P3_I_am	-1	0	0	3	3	0	R
70	5	8m/ TL=88%	N	1N_V1_P1_S	3	1	0	0	-1	2	R
71	5	21m/ TL=88%	N	7N_V1_P3_I_ac	0	0	0	1	3	1	R
72	5	12m/ TL=24%	N	10N_V2_P2_S	0	0	2	0	1	2	R
73	4	21m/ TL=88%	N	7N_V1_P3_I_am	-1	0	0	3	2	0	R
74	4	12m/ TL=24%	N	11N_V2_P2_I_ac	-1	0	0	3	1	1	R
75	4	21m/ TL=24%	N	13N_V2_P3_I_am	-1	0	0	3	1	1	R
76	4	21m/ TL=24%	N	13N_V2_P3_I_ac	-1	0	0	3	1	1	R
77	3	21m/ TL=88%	S	25S_V1_P3_S	0	0	3	0	-1	2	R
78	3	12m/ TL=88%	O	42O_V1_P2_I_am	1	0	1	0	1	0	R
79	3	21m/ TL=88%	O	45O_V1_P3_I_ac	0	0	0	0	2	1	R
80	3	21m/ TL=54%	O	56O_V3_P3_S	0	0	0	0	1	2	R
81	3	8m/ TL=88%	N	2N_V1_P1_I_am	-1	0	0	1	3	0	R
82	3	12m/ TL=54%	N	17N_V3_P2_I_am	0	0	0	0	2	1	R
83	3	12m/ TL=54%	N	17N_V3_P2_I_ac	0	0	1	0	1	1	R
84	3	21m/ TL=54%	N	18N_V3_P3_S	0	0	0	0	1	2	R
85	2	21m/ TL=88%	N	6N_V1_P3_S	1	0	0	0	-1	2	R
86	1	21m/ TL=88%	O	44O_V1_P3_S	0	0	0	0	-1	2	R
87	0	12m/ TL=88%	N	4N_V1_P2_I_am	-1	0	0	0	1	0	R

Fonte: Autora da tese

Apêndice E

IMAGENS COM A MEDIÇÃO DA PROFUNDIDADE DO ALCANCE DA LUZ NATURAL

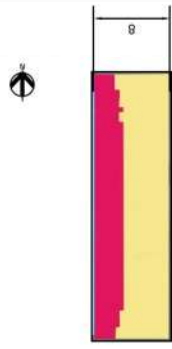
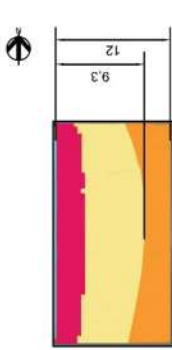
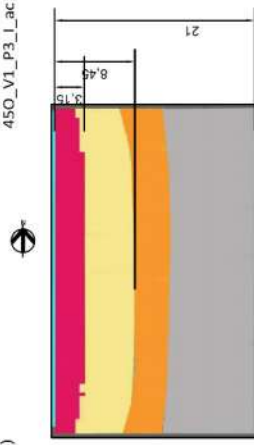
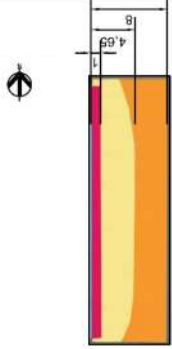
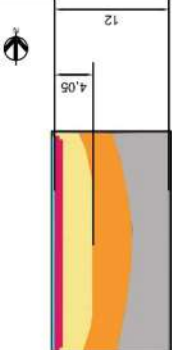
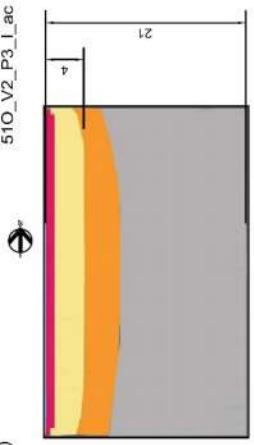
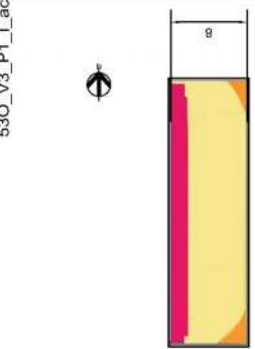
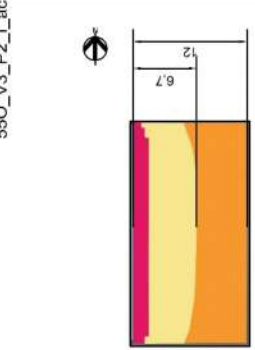
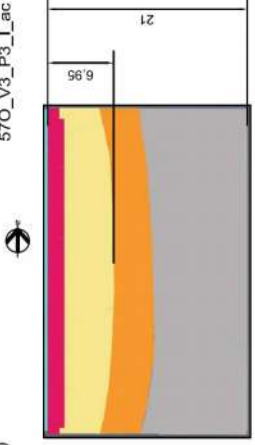
APENDICE E- PROFUNDIDADE DE ALCANCE DA LUZ NATURAL (PLN)

Tabela 51: Profundidade de penetração da luz natural (PLN) – Cenários Face Norte

		FACE NORTE						
		PROFUNDIDADE = 8M		PROFUNDIDADE = 12M		PROFUNDIDADE = 21M		
VIDRO 1 TL=88%	a)	2N_V1_P1_I_ac	4N_V1_P2_I_ac	7N_V1_P3_I_ac	d)	9N_V2_P1_I_ac	13N_V2_P2_I_ac	19N_V3_P3_I_ac
	b)	2N_V1_P1_I_ac	4N_V1_P2_I_ac	7N_V1_P3_I_ac	e)	9N_V2_P1_I_ac	13N_V2_P2_I_ac	19N_V3_P3_I_ac
	c)	2N_V1_P1_I_ac	4N_V1_P2_I_ac	7N_V1_P3_I_ac	f)	9N_V2_P1_I_ac	13N_V2_P2_I_ac	19N_V3_P3_I_ac
VIDRO 2 TL=24%	a)	2N_V1_P1_I_ac	4N_V1_P2_I_ac	7N_V1_P3_I_ac	e)	9N_V2_P1_I_ac	13N_V2_P2_I_ac	19N_V3_P3_I_ac
	b)	2N_V1_P1_I_ac	4N_V1_P2_I_ac	7N_V1_P3_I_ac	f)	9N_V2_P1_I_ac	13N_V2_P2_I_ac	19N_V3_P3_I_ac
	c)	2N_V1_P1_I_ac	4N_V1_P2_I_ac	7N_V1_P3_I_ac	g)	9N_V2_P1_I_ac	13N_V2_P2_I_ac	19N_V3_P3_I_ac
VIDRO 3 TL=54%	a)	2N_V1_P1_I_ac	4N_V1_P2_I_ac	7N_V1_P3_I_ac	e)	9N_V2_P1_I_ac	13N_V2_P2_I_ac	19N_V3_P3_I_ac
	b)	2N_V1_P1_I_ac	4N_V1_P2_I_ac	7N_V1_P3_I_ac	f)	9N_V2_P1_I_ac	13N_V2_P2_I_ac	19N_V3_P3_I_ac
	c)	2N_V1_P1_I_ac	4N_V1_P2_I_ac	7N_V1_P3_I_ac	g)	9N_V2_P1_I_ac	13N_V2_P2_I_ac	19N_V3_P3_I_ac

Fonte: Autora da tese

Tabela 53: Profundidade de penetração da luz natural (PLN) – Cenários Face Oeste

		FACE OESTE		
		PROFUNDIDADE = 8M	PROFUNDIDADE = 12M	PROFUNDIDADE = 21M
VIDRO 1 TL=88%	a)		b)	
	c)		d)	
	e)		f)	
VIDRO 2 TL=24%	g)		h)	
	i)			

Fonte: Autora da tese