

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Dissertação



Avaliação do desempenho lumínico e termoenergético em modelo de prédio administrativo: estudo de caso na Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Paula Wrague Moura

Pelotas, 2017

Paula Wrague Moura

Avaliação do desempenho lumínico e termoenergético em modelo de prédio administrativo: estudo de caso na Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo (linha de pesquisa: conforto e sustentabilidade do ambiente construído).

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Celina Maria Britto Corrêa

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M929a Moura, Paula Wrague

Avaliação do desempenho lumínico e termoenergético em modelo de prédio administrativo : estudo de caso na Universidade Federal do Rio Grande - FURG / Paula Wrague Moura ; Celina Maria Britto Corrêa, orientadora ; Eduardo Grala da Cunha, coorientador. — Pelotas, 2017.

170 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Iluminação natural. 2. Desempenho lumínico. 3. Desempenho termoenergético. 4. Ambientes administrativos. I. Corrêa, Celina Maria Britto, orient. II. Cunha, Eduardo Grala da, coorient. III. Título.

CDD : 747.92

Paula Wrague Moura

Avaliação do desempenho lumínico e termoenergético em modelo de prédio administrativo: estudo de caso na Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 18 de dezembro de 2017

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Celina Maria Britto Correa (Orientadora)
Doutora em Arquitetura pela Universidade Politécnica de Madrid

Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha (Coorientador)
Doutor em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Antônio Cesar Silveira Baptista da Silva
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Dr.^a Isabel Tourinho Salamoni
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Dr.^a Giane de Campos Grigoletti
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Agradecimentos

À minha orientadora, que tanto admiro como profissional e como pessoa, desde o tempo da graduação, por toda a dedicação, ensinamentos, incentivo e carinho. Suas palavras servirão para toda a minha vida. Sou muito grata por tudo.

Ao meu coorientador pelos valiosos ensinamentos e contribuições ao meu trabalho.

Aos membros da banca, pelas sábias contribuições.

Aos meus pais por todo amor, carinho, conselhos, educação, princípios, valores, união e motivação.

Ao meu irmão, com quem posso contar sempre, por me inspirar e ajudar com seu conhecimento, desde sempre.

Ao meu noivo que se mostrou o melhor amigo que eu poderia ter, estando ao meu lado em todos os momentos, me ajudando, incentivando e tendo muita paciência.

Aos meus familiares e amigos que torceram por mim e foram essenciais para a conclusão desse trabalho.

À todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram e estiveram presentes nesta trajetória.

Muito obrigada!

Resumo

MOURA, Paula Wrague. **Avaliação do desempenho lumínico e termoenergético em modelo de prédio administrativo**: Estudo de caso na Universidade Federal do Rio Grande - FURG. 2017. 170f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A luz é um elemento fundamental para que se obtenha ambientes construídos que promovam conforto ambiental e eficiência energética. Entretanto, estratégias que potencializam o desempenho lumínico de uma edificação podem afetar o seu desempenho termoenergético. Nesse sentido, consideram-se essenciais pesquisas que tratam desses aspectos em conjunto. Este trabalho de dissertação teve como objetivo geral, avaliar o desempenho lumínico e termoenergético de ambientes administrativos de uma instituição pública, e propor estratégias que potencializem o aproveitamento da iluminação natural e um menor consumo, para que projetos futuros, tanto de edificações novas como de retrofit, possam contar com referências e parâmetros validados. A pesquisa desenvolveu-se através de um estudo de caso de um modelo de prédio administrativo, no qual se modificaram e combinaram características de orientação solar, uso de prateleira de luz, tipo de vidro, e cores claras ou escuras, derivando-o em modelos propostos. As avaliações de desempenho lumínico foram realizadas através de simulação dinâmica com o programa Rhinoceros for Diva, e as de desempenho termoenergético com o programa EnergyPlus. Os resultados do trabalho demonstraram que uma adequada orientação solar tem um grande impacto na autonomia de iluminação natural e no consumo energético dos modelos avaliados, seguido do tipo de vidro e o uso das cores claras, em menor medida, e que o uso de iluminação artificial com dimerização é fundamental como complemento à autonomia de iluminação natural. Para as condições de contorno do estudo, o uso de prateleiras de luz não modificou nem o desempenho lumínico, nem o desempenho termoenergético dos modelos avaliados.

Palavras-chave: Iluminação natural. Desempenho lumínico. Desempenho termoenergético. Ambientes administrativos.

Abstract

MOURA, Paula Wrague. **Evaluation of the luminous and thermoenergetic performance in an administrative building model**: Case study at the Federal University of Rio Grande - FURG. 2017. 170f. Dissertation (Master degree) - Post-Graduate Program in Architecture and Urbanism. Federal University of Pelotas, Pelotas.

Light is a fundamental element to obtain built environments that promote environmental comfort and energy efficiency. However, strategies that enhance the light performance of a building can affect its thermoenergetic performance. In this sense, research that addresses these aspects together is considered essential. This dissertation aimed at evaluating the luminous and thermoenergetic performance of administrative environments of a public institution, and proposing strategies that enhance the use of natural light and lower consumption, so that future projects, both new buildings and retrofit, can count on validated references and parameters. The research was developed through a case study of an administrative building model, in which the characteristics of solar orientation, light shelf use, glass type, and light or dark colors were modified and combined, deriving it into models proposed. The light performance evaluations were performed through dynamic simulation with the Rhinoceros for Diva program, and the thermoenergetic performance evaluations with the EnergyPlus program. The results of the work showed that a suitable solar orientation has a great impact on the automation of natural light and the energy consumption of the evaluated models, followed by the type of glass and the use of the light colors to a lesser extent and that the use of artificial lighting with dimerization is fundamental as a complement to the autonomy of natural light. For the boundary conditions of the study, the use of light shelves did not modify neither the light performance nor the thermoenergetic performance of the evaluated models.

Keywords: Natural lighting. Light performance. Thermoenergetic performance. Administrative environments.

Lista de Figuras

Figura 1 - Integração entre luz natural e artificial	34
Figura 2 - Aumentando a penetração de luz no interior com prateleiras de luz	40
Figura 3 - Espectro solar	42
Figura 4 - Fluxograma do processo metodológico	60
Figura 5 - Mapa do Campus Carreiros da FURG	61
Figura 6 - Implantação dos prédios construídos "modelo padrão administrativo" no Campus Carreiros	62
Figura 7 - Modelo padrão de prédio administrativo - Entrada Principal.....	63
Figura 8 - Modelo padrão de prédio administrativo	63
Figura 9 - Planta Baixa do Pavimento Térreo – Modelo padrão de prédio administrativo	64
Figura 10 - Planta Baixa do Pavimento Superior – Modelo padrão de prédio administrativo	64
Figura 11 - Imagem do Pavimento Superior do modelo padrão.....	70
Figura 12 - Imagem do Pavimento Térreo do modelo padrão.....	70
Figura 13 - Malha de pontos para medições	73
Figura 14 - Representação gráfica da malha no programa Rhinoceros for Diva.....	74
Figura 15 - Interface do programa Rhinoceros e as ferramentas do plugin Diva	74
Figura 16 - Representação gráfica em cores falsas do programa Rhinoceros for Diva	75
Figura 17 - Entradas e saídas de dados com o plugin Diva for Rhino.....	76
Figura 18 - Gráfico da simulação luminosa com diferentes orientações no modelo padrão	77
Figura 19 - Representação da prateleira de luz com posição central, externa e interna	79
Figura 20 - Representação da prateleira de luz colocada a 1/2 da janela e a 1/3 da janela.....	80
Figura 21 - Modelo de prédio administrativo com prateleiras de luz	81
Figura 22 - Imagem do modelo padrão modelado no sketchUp para simulação termoenergética	88
Figura 23 - DA dos modelos na orientação NORTE.....	97
Figura 24 - DA dos modelos nas orientações LESTE e OESTE	98

Figura 25 - DA dos modelos nas orientações NORDESTE e NOROESTE.....	99
Figura 26 - Percentual de DA do modelo com melhor desempenho lumínico.....	101
Figura 27 - Consumo dos modelos simulados na orientação NORTE	105
Figura 28 - Consumo dos modelos simulados na orientação LESTE	105
Figura 29 - Consumo dos modelos simulados na orientação OESTE.....	106
Figura 30 - Consumo dos modelos simulados na orientação NORDESTE.....	106
Figura 31 - Consumo dos modelos simulados na orientação NOROESTE.....	107
Figura 32- Gráfico do consumo sem e com iluminação artificial	109
Figura 33 - Gráfico do consumo com iluminação artificial e com dimerização	112
Figura 34 - Desempenho termoenergético dos modelos simulados por condição do sistema de iluminação artificial.....	114
Figura 35 - DA x Consumo energético dos modelos simulados sem iluminação artificial	116
Figura 36 - DA x Consumo energético dos modelos simulados com dimerização ..	120
Figura 37 - Ambientes com boa uniformidade luminosa	138

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Fatores que afetam o desempenho de tarefas visuais.....	24
Tabela 2 - Valores de iluminâncias recomendados pela NBR 8995-1	25
Tabela 3 - Dimensionamento das aberturas segundo o estudo de Mascaró	31
Tabela 4 – Transmissividades dos vidros estudados	45
Tabela 5 - Síntese dos estudos sobre desempenho lumínico.....	51
Tabela 6 - Síntese dos estudos sobre desempenho lumínico e termoenergético	57
Tabela 7 - Diferentes orientações solares do modelo padrão de prédio administrativo da FURG.....	65
Tabela 8 - Relação da área de abertura com a área de piso do modelo de prédio administrativo	65
Tabela 9 - Relação do percentual de abertura do modelo de prédio administrativo..	66
Tabela 10 - Ambientes, área e número de usuários do modelo de prédio padrão	66
Tabela 11 - Área das aberturas laterais dos salões do modelo padrão	67
Tabela 12 - Orientações solares simuladas para o desempenho lumínico	68
Tabela 13 - Descrição do modelo padrão de prédio administrativo.....	69
Tabela 14 - Reflexão das cores do modelo padrão.....	70
Tabela 15 - Transmissividade luminosa ou visível do vidro no modelo padrão.....	70
Tabela 16 - Quantidade mínima de pontos a serem medidos.....	72
Tabela 17 - Simulação luminosa com diferentes orientações no modelo padrão	77
Tabela 18 - Resultados de DA com posições diferentes das prateleiras de luz.....	79
Tabela 19 - Resultados de DA para diferentes profundidades de prateleiras de luz.	80
Tabela 20 - Resultados de DA para as diferentes alturas de prateleiras de luz.....	81
Tabela 21 - Desenho experimental: Simulações do desempenho lumínico nos modelos.....	82
Tabela 22 - Densidade de carga típica de equipamentos	84
Tabela 23 - Sistema de iluminação artificial	85
Tabela 24 - Propriedades térmicas dos materiais opacos.....	86
Tabela 25 - Propriedades óticas e energéticas dos vidros.....	87
Tabela 26 - Parâmetros de entrada para a simulação termoenergética dos modelos	88
Tabela 27 - Orientações simuladas para o desempenho termoenergético dos modelos.....	91

Tabela 28 - Desenho experimental: simulação do desempenho termoenergético dos modelos.....	92
Tabela 29 - DA do modelo padrão por orientação.....	95
Tabela 30 - Índices DA na orientação norte, sem o uso de prateleiras de luz	96
Tabela 31 - Índices DA na orientação norte, com o uso de prateleiras de luz	97
Tabela 32 - Índices DA nas orientações leste e oeste, sem o uso de prateleiras de luz.....	98
Tabela 33 - Índices DA nas orientações leste e oeste, com o uso de prateleiras de luz.....	98
Tabela 34 - Índices DA nas orientações nordeste e noroeste, sem o uso de prateleiras de luz.....	99
Tabela 35 - Índices DA nas orientações nordeste e noroeste, com o uso de prateleiras de luz.....	99
Tabela 36 - Relação das características alteradas com a DA.....	100
Tabela 37 - Relação área de abertura com área de piso e parede	103
Tabela 38 - Relação da orientação solar com o consumo total.....	104
Tabela 39 - Relação das características alteradas com o consumo total do modelo padrão por orientação solar.....	107
Tabela 40 - Percentuais de consumo parciais dos modelos em relação às condições do sistema de iluminação artificial.....	113
Tabela 41 - Impacto das características alteradas no desempenho lumínico e termoenergético dos modelos sem considerar a iluminação artificial.....	115
Tabela 42 - Impacto das características alteradas no desempenho lumínico e termoenergético dos modelos considerando a iluminação artificial dimerizada	119
Tabela 43 - Resultados numéricos do modelo NO_SP_1_C, de melhor desempenho lumínico e termoenergético, no solstício de inverno, sob condição de céu parcialmente nublado	124
Tabela 44 - Resultados numéricos do modelo NO_SP_1_C, de melhor desempenho lumínico e termoenergético, no solstício de verão, sob condição de céu parcialmente nublado	125
Tabela 45 - Resultados numéricos do modelo NO_SP_1_C, de melhor desempenho lumínico e termoenergético, no solstício de inverno, sob condição de céu claro	126
Tabela 46 - Resultados numéricos do modelo NO_SP_1_C, de melhor desempenho lumínico e termoenergético, no solstício de verão, sob condição de céu claro.....	127

Tabela 47 - Resultados numéricos do modelo NE-NO_SP_2_C com maior DA, no solstício de inverno, sob condição de céu parcialmente nublado.....	129
Tabela 48 - Resultados numéricos do modelo NE-NO_SP_2_C com maior DA, no solstício de verão, sob condição de céu parcialmente nublado.....	130
Tabela 49 - Resultados numéricos do modelo NE-NO_SP_2_C com maior DA, no solstício de inverno, sob condição de céu claro.....	131
Tabela 50 - Resultados numéricos do modelo NE-NO_SP_2_C com maior DA, no solstício de verão, sob condição de céu claro.....	132
Tabela 51 - Resultados numéricos do modelo NO_CP_1_C, com prateleiras de luz, no solstício de inverno, sob condição de céu parcialmente nublado.....	134
Tabela 52 - Resultados numéricos do modelo NO_CP_1_C, com prateleiras de luz, no solstício de verão, sob condição de céu parcialmente nublado.....	135
Tabela 53 - Resultados numéricos do modelo NO_CP_1_C, com prateleiras de luz, no solstício de inverno, sob condição de céu claro.....	136
Tabela 54 - Resultados numéricos do modelo NO_CP_1_C, com prateleiras de luz, no solstício de verão, sob condição de céu claro.....	137
Tabela 55 - Verificação da economia ou gasto de energia obtida pelas intervenções propostas sobre o modelo padrão.....	139
Tabela 56 - Cálculo do Payback simples.....	140
Tabela 57 - Exemplo do consumo total do melhor desempenho e do pior desempenho dos modelos na situação sem iluminação artificial.....	141

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
CAD	Programa computacional Auto CAD
CIN	Contribuição de Iluminação Natural
DA	Autonomia de Iluminação Natural
E	Iluminância
Fig.	Figura
FLD	Fator de luz Diurna
FURG	Universidade Federal do Rio Grande
IESNA	<i>Illuminating Engineering Society Of North America</i>
IRC	Índice de reprodução de cor
LabCEE	Laboratório de Conforto e Eficiência Energética
MEC	Ministério da Educação
NBR	Norma Brasileira
NTI	Prédio do Núcleo de Tecnologia da Informação
PAF	Percentual de Abertura na Fachada
PAFT	Percentual de Abertura na Fachada Total
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROINFRA	Prédio da Pró-Reitoria de Infra-Estrutura
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SECOM	Prédio da Secretaria de Comunicação
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
tab.	Tabela
UDI	Iluminância Útil da Luz Natural

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Contexto	17
1.1.1 Problema de pesquisa.....	19
1.2 Justificativa do tema.....	20
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo geral	22
1.3.2 Objetivos específicos.....	22
2 REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1 Desempenho lumínico.....	23
2.2 Luz natural.....	27
2.3 Aberturas.....	29
2.3.1 Referências de dimensionamento das aberturas	30
2.4 Iluminação natural integrada a eficiência energética.....	32
2.5 Desempenho lumínico x desempenho termoenergético	36
2.6 Algumas estratégias de desempenho lumínico e termoenergético	38
2.6.1 Orientação solar	38
2.6.2 Prateleiras de luz.....	39

2.6.3 Vidros	41
2.6.4 Cores	45
2.7 Estado atual da arte	47
2.7.1 Desempenho lumínico.....	48
2.7.2 Desempenho lumínico e termoenergético	52
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
3.1 Levantamento do objeto de estudo e coleta de dados	61
3.2 Definição do experimento e avaliação do desempenho lumínico do modelo padrão	66
3.2.1 Desenho experimental para a avaliação luminosa	66
3.2.2 Avaliação do desempenho lumínico no modelo padrão	68
3.2.2.1 Rhinoceros for Diva	71
3.3 Definição dos modelos propostos	76
3.4 Avaliação do desempenho lumínico nos modelos propostos.....	81
3.5 Avaliação do desempenho termoenergético no modelo padrão e nos modelos propostos.....	82
3.5.1 Energy Plus	89
3.5.2 Desenho experimental para a avaliação termoenergética.....	90
3.6. Avaliação qualitativa da iluminação natural.....	92

3.7. Verificação da viabilidade financeira	93
4 RESULTADOS	95
4.1 Avaliação do desempenho lumínico.....	95
4.1.1 Modelos orientados ao norte.....	95
4.1.2 Modelos orientados ao leste e oeste.....	97
4.1.3 Modelos orientados ao nordeste e noroeste	98
4.1.4 Avaliação dimensional das aberturas.....	102
4.2 Avaliação do desempenho termoenergético	103
4.2.1 Resultados considerando os modelos sem iluminação artificial.....	104
4.2.2 Resultados considerando os modelos com iluminação artificial.....	108
4.2.3 Resultados considerando os modelos com iluminação artificial dimerizada ..	110
4.3 Desempenho lumínico x desempenho termoenergético	114
4.4 Avaliação qualitativa.....	122
4.4.1 Avaliação da uniformidade luminosa e do ofuscamento	123
4.5 Avaliação econômica	138
5 CONCLUSÕES	142
5.1 Aspectos gerais.....	142
5.2 Modelo de prédio padrão da FURG	144

5.3 Sugestões para trabalhos futuros.....	145
Referências	146
APÊNDICE A - Análise dos modelos sem iluminação artificial por orientação solar	153
APÊNDICE B - Relação desempenho lumínico x desempenho termoenergético por orientação solar.....	163

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Para obtermos produtividade e qualidade no trabalho devemos possuir boas condições ambientais nos espaços onde se desenvolvem as atividades, e, entre outros aspectos, o conforto visual e o conforto térmico devem ser considerados.

Conforto visual é entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.57).

Conforto térmico, segundo a ASHRAE (2014), é definido como o estado ou condição de sentir satisfação com relação ao ambiente térmico em que a pessoa se encontra.

Sabe-se que conforto é relativo às pessoas e desempenho, às edificações. No entanto, para alcançarmos o conforto precisamos avaliar o desempenho das edificações.

Em edificações de uso prolongado, onde são desenvolvidas atividades visuais intensas, o uso adequado da luz natural é de extrema importância, não apenas resultando em economia de energia elétrica, mas também contribuindo para o desempenho lumínico e térmico dos ambientes.

Segundo Lechner (2015), toda luz, seja natural ou elétrica, é energia radiante que é eventualmente absorvida e transformada em calor. Em climas temperados como o nosso, ao sul do Brasil, no inverno, este calor é desejável e, no verão, não. Assim, queremos coletar toda a luz natural possível no inverno, enquanto a luz coletada for luz de qualidade, ou seja, luz com brilho excessivo controlado. Por outro lado, no verão, queremos coletar apenas a luz natural suficiente para que as luzes elétricas possam ser desligadas.

Nesse contexto, torna-se relevante a avaliação do desempenho lumínico e termoenergético das edificações, de forma paralela, porque o desempenho

insatisfatório de aspectos lumínicos, por exemplo, pode alterar o desempenho termoenergético da edificação, e vice-versa. Nesse sentido, consideram-se essenciais as pesquisas que tratam destas questões em conjunto.

Quando se abordam questões de conforto ambiental em espaços de trabalho, também se torna imprescindível pensar no consumo de energia, na operação e manutenção de edifícios, não somente pelo fator custo, mas pelo comprometimento com a questão ambiental, levando-se em consideração que os edifícios consomem 40% da energia mundial (MIZGIER, 2010).

Outro fator relevante é que ainda hoje, grande parte do trabalho da nação é feito durante o dia. A maioria das pessoas trabalham cerca de 2000 horas por ano (40 horas/semana × 50 semanas), e mais de 80% dessas horas ocorrem quando a luz do dia útil está disponível (LECHNER, 2015).

A crise energética pela qual a sociedade atravessa nos dias de hoje requer a utilização racional da energia. Os sistemas de iluminação, responsáveis por grande parte da energia consumida, tornam-se um dos principais alvos na busca por eficiência energética e a integração com a luz natural um dos fatores que mais contribui para se obter um sistema energeticamente eficiente.

No Brasil, os maiores usos finais da energia em edifícios públicos são a iluminação artificial e o ar condicionado, na qual o ar condicionado representa 48% do total do consumo de energia, a iluminação representa 23%, os equipamentos de escritório 15% e os demais usos finais 14% do total (Eletrobras 2007).

A partir destes dados energéticos percebe-se a importância de um bom projeto de iluminação, que integre a iluminação natural com a artificial, e resulte em diminuição dos ganhos térmicos do ambiente e, com isso, reduzir a demanda por ar condicionado.

Nesse sentido, Fathoni et al (2016) ao investigar o desempenho energético da luz natural em edifício de escritórios na Tailândia relatou que em determinados casos o calor dissipado das lâmpadas chega a contribuir com 20% da carga de refrigeração do prédio, destacando que este números são significativos e merecem atenção.

A crise no setor energético em 2001, no Brasil, demonstrou as consequências da escassez de energia e levantou ainda mais a questão do uso racional dos recursos energéticos existentes. O uso otimizado da luz natural em

novos projetos ou em reformas de edifícios existentes é certamente uma estratégia eficaz na busca por um uso responsável da energia (AMORIM, 2002).

Neste mesmo sentido Vlachokostas e Madamopoulos (2015) afirmam que uma estratégia significativa de economia de energia é a implementação adequada da iluminação natural. A luz natural difere da luz artificial em termos de intensidade, conteúdo espectral e, mais importante ainda, seu alinhamento natural com os ciclos humanos: o ciclo circadiano, um padrão que é essencial devido aos seus efeitos na liberação de melatonina e nos ciclos fisiológicos, como o ciclo sono-vigília.

O veículo mais óbvio para economizar energia em edifícios é explorar a fonte mais abundante de luz disponível para nós, ou seja, a luz do dia. As avaliações ambientalmente conscientes do projeto de construção estão reconhecendo que a luz do dia é uma mercadoria importante e deve ser explorada ao máximo. Geralmente, as pessoas quando perguntadas, sempre preferem trabalhar em um ambiente natural. Há um crescente reconhecimento de que a luz do dia produz efeitos positivos, tanto fisiológicos como psicológicos (PHILLIPS, 2004, p. 40).

A utilização adequada da luz natural em ambientes administrativos, objeto deste estudo, reduz o consumo de energia elétrica para iluminação e, altera a carga térmica dos edifícios. Também tem um papel importante nos aspectos físicos, fisiológicos e psicológicos do ser humano, influenciando no bem estar e na produtividade dos usuários.

Neste contexto, o presente estudo pretende avaliar o desempenho lumínico e termoenergético em ambientes administrativos, reconhecendo-se, por um lado, a importância da luz natural nos ambientes de trabalho, tanto para saúde quanto para produtividade das pessoas, e pelo outro, a necessidade de racionalização de energia, através da diminuição da iluminação artificial. Entretanto, é necessário que se conheça as implicações da iluminação natural na carga térmica das edificações, para que, em última análise, se consiga avançar na economia de energia e suas consequências positivas para o meio ambiente.

1.1.1 Problema de pesquisa

A luz é um elemento fundamental para obtermos ambientes construídos com conforto ambiental e eficiência energética, portanto se mal utilizada pode causar

danos como o ofuscamento, má visibilidade, além de afetar diretamente no aspecto termoenergético da edificação. Portanto, é de extrema valia analisarmos aspectos lumínicos e termoenergéticos de forma paralela, pois não adianta termos um ambiente bem iluminado por um lado, e que proporcione sensação térmica inadequada, além de consumo energético elevado. Temos que buscar o equilíbrio lumínico e termoenergético das edificações.

A Universidade Federal do Rio Grande - FURG, estudo de caso deste trabalho, adotou um modelo de prédio administrativo, sob o qual quatro prédios encontram-se construídos. Três destes prédios estão locados no Campus Carreiros (Prédio da Pró-Reitoria de Infra-Estrutura – PROINFRA, Prédio do Núcleo de Tecnologia da Informação – NTI e Prédio da Secretaria de Comunicação – SECOM), e um no Campus de Santo Antônio da Patrulha (Prédio Administrativo).

Este modelo de prédio apresenta grandes vãos de aberturas, sem proteção solar e apesar de apresentarem a mesma envoltória, estão localizados em diferentes orientações solares, já que sua implantação tem obedecido critérios de acesso a sua varanda de entrada desde as vias existentes no campus.

Embora grandes janelas sejam interessantes, o conseqüente excesso de luz pode causar ofuscamento nos ambientes internos administrativos, aumentar a carga térmica no verão e produzir perdas térmicas no inverno. A partir dessas considerações surgem as perguntas de pesquisa que este trabalho de dissertação busca responder: o modelo edificatório em questão apresenta desempenho lumínico e termoenergético adequado ao seu uso, ainda que localizado em diferentes orientações? Quais estratégias arquitetônicas seriam necessárias para otimizar seu comportamento lumínico e termoenergético?

1.2 Justificativa do tema

Os edifícios de escritórios geralmente emitem uma grande quantidade de calor interno devido a altas taxas de ocupação e uso significativo de equipamentos e iluminação. Os funcionários de escritórios dependem das condições de conforto fornecidas no prédio para executar seus trabalhos. Assim, sua produtividade depende diretamente do nível de conforto fornecido dentro do prédio. Os edifícios de escritórios consomem alta quantidade de energia sob a forma de resfriamento, aquecimento, iluminação e equipamentos. A Agência Internacional de Energia indicou

que, em um prédio de escritórios típico, a iluminação artificial congestiona a maior parte da energia, seguida de operações de resfriamento e aquecimento. Os edifícios de escritórios têm uma proporção relativamente elevada de consumo de energia por unidade devido a seus requisitos funcionais e operacionais (FASI; BUDAIWI, 2015, p. 307).

Outro aspecto de relevância a ser apontado é o fato de a demanda de energia por iluminação ser elevada no setor público, variando de 40%, em edifícios com ar condicionado, a 90% do uso final, em edifícios sem ar condicionado (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014), o que demonstra o alto potencial de economia a ser gerado no setor, em especial pelo horário de funcionamento dessas edificações, se fossem empregadas soluções que possibilitassem o uso eficiente da iluminação natural de maneira que elevasse suas vantagens e minimizasse suas desvantagens.

Neste mesmo contexto, Freewan (2014), relata que os edifícios de escritórios exigem uma grande quantidade de energia para iluminação, refrigeração e aquecimento. Grandes janelas e fachadas altamente envidraçadas têm sido cada vez mais utilizadas em novos edifícios, permitindo o acesso à luz natural, visão externa e ganho de calor. Este ganho de calor através das janelas representa um componente significativo de carga de resfriamento e conseqüentemente aumento no consumo de energia.

Portanto, grandes áreas envidraçadas requerem atenção significativa no projeto de construção pelo seu impacto na demanda de iluminação, refrigeração e aquecimento. A radiação solar que penetra pelas aberturas não protegidas aumenta significativamente a temperatura do ar no verão e isso afeta tanto o conforto dos usuários quanto o desempenho térmico da edificação, através do aumento da carga para resfriamento. Por outro lado, excesso de radiação pode causar ofuscamento no usuário, que revela o mal desempenho lumínico da edificação.

Em contrapartida, projetos que contribuam para um melhor desempenho térmico das edificações, através do controle dos ganhos de calor solar, podem acabar bloqueando a visão e/ou afetando negativamente a estética do prédio.

Neste sentido, estudos que abordem simultaneamente aspectos lumínicos e termoenergéticos da edificação são necessários para que se alcancem níveis de conforto interno adequados às atividades previstas para a edificação, com eficiência energética. Neste contexto, busca-se com esse trabalho, contribuir para o avanço

das estratégias de projeto que visam integrar questões luminosas e termoenergéticas de maneira otimizada em edifícios públicos. Destaca-se a relevância deste assunto para a área de conhecimento da arquitetura, mais diretamente para o estudo da qualidade e tecnologia do ambiente construído, onde prioriza-se o conforto do usuário e a possibilidade de economia de energia.

A principal contribuição esperada deste estudo é a divulgação de estratégias que potencializem o aproveitamento da iluminação natural com bom desempenho termoenergético em edifícios administrativos, para que projetos futuros, tanto de edificações novas como de retrofit, possam contar com referências e parâmetros validados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho de dissertação tem como objetivo geral avaliar o desempenho lumínico e termoenergético dos ambientes administrativos de uma instituição pública, e propor estratégias que potencializem o aproveitamento da iluminação natural e um menor consumo.

1.3.2 Objetivos específicos

1) Avaliar o desempenho lumínico de ambientes administrativos em um modelo padrão de edificação;

2) Investigar, sugerir e identificar estratégias que possam ser determinantes para o melhor aproveitamento da iluminação natural e melhoria no desempenho termoenergético da edificação;

3) Avaliar o desempenho termoenergético nos ambientes administrativos (modelo padrão e modelos propostos) nas orientações solares com o melhor desempenho lumínico;

4) Identificar as combinações de estratégias que apresentam tanto desempenho lumínico como térmico de maneira paralela;

5) Avaliar a viabilidade econômica das estratégias propostas, que apresentam melhor desempenho termoenergético, sob o aspecto da economia de energia.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Apresenta-se nesse capítulo a base teórica utilizada para o aprofundamento do tema proposto, como resultado da busca por subsídios em literaturas técnicas na área de desempenho lumínico e termoenergético em ambientes administrativos. O capítulo organiza-se a partir de alguns princípios básicos relacionados ao tema e na sua sequência faz uma síntese do estado atual da arte.

2.1 Desempenho lumínico

O homem, no seu dia-a-dia, exerce diversas atividades visuais. Para cada uma delas, nosso olho necessita de condições específicas. Por exemplo: para ler e escrever necessita-se de certa quantidade de luz no plano de trabalho; para desenhar ou desenvolver atividades visuais de maior acuidade visual (atividades mais “finas” e com maior quantidade de menores detalhes), necessita-se de mais luz. No entanto, sabe-se que quantidade de luz (iluminâncias necessárias às tarefas) não é o único requisito necessário para obtermos boas condições de conforto. Luminâncias controladas, contraste adequado e ausência de ofuscamento também são fatores essenciais.

Neste sentido, quanto melhores forem as condições propiciadas pelo ambiente, menor será o esforço físico que o olho terá de fazer para se adaptar as condições ambientais e desenvolver com adequação, as atividades previstas para o espaço.

É importante balancear a qualidade e a quantidade de iluminação em um ambiente, bem como escolher adequadamente a fonte de luz natural e artificial. Torna-se difícil, no entanto, estimar as preferências humanas à iluminação, visto que este fator varia conforme a idade da pessoa, a hora do dia e as relações contextuais com o local.

O emprego preferencial da luz natural permite às pessoas maior tolerância à variação do nível de iluminação. Também se pode dizer que quanto mais complicada a tarefa a ser desempenhada em um ambiente e quanto mais

velha for a pessoa, tanto maior deverá ser o nível de iluminação de um local. A iluminação inadequada pode causar fadiga visual, dor de cabeça e irritabilidade, além de provocar erros e acidentes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.57).

Os fatores que afetam o desempenho de tarefas visuais podem ser divididos em três grupos, conforme mostra a tab. 1.

Tabela 1 - Fatores que afetam o desempenho de tarefas visuais

Grupos	Fatores
Tarefa	- Tamanho dos detalhes, proximidade
	- Tempo de duração da tarefa
	- Contraste dos detalhes em relação ao entorno imediato
	- Familiaridade com a tarefa
Condições de luz	- Luminância
	- Ofuscamento
	- Nível de iluminação
Condições do observador	- Condições dos olhos
	- Adaptação
	- Fadiga visual

Fonte: PAPST et al, 2005

O estudo aqui apresentado se ocupa do grupo "condições de luz" e avalia os fatores de nível de iluminação e ofuscamento.

O nível de iluminação ou iluminância é o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície, situada a uma certa distância da fonte, por unidade de área. A unidade de medida para iluminância é lumen/m² ou lux.

A NBR 8995-1 (2013) especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho.

Com relação ao nível de iluminação, são recomendados valores de iluminância mantida conforme o tipo de ambiente, tarefa ou atividade a ser desempenhada. A tab. 2 exemplifica esses valores recomendados para escritórios (ambiente estudado nesta dissertação).

A iluminância mantida é definida pela norma como o valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida.

Tabela 2 - Valores de iluminâncias recomendados pela NBR 8995-1

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	E (lux)
Escritórios	
Arquivamento, cópia, circulação, etc.	300
Escrever, teclar, ler, processar dados	500
Desenho técnico	750
Estações de CAD	500
Salas de reunião e conferência	500
Recepção	300
Arquivos	200

Fonte: NBR 8995-1, 2013

O nível de iluminação é uma importante característica da iluminação, assim como a distribuição de seus diferentes valores pelo local em questão. Para a visão, o nível ótimo de iluminação não é necessariamente o mais alto nível que, economicamente, é possível ser conseguido. É, sim, aquele que nos possibilita a melhor visão, um reconhecimento fácil da mensagem visual sem nos causar cansaço visual (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011, p. 149).

A previsão de uma quantidade maior de luz possibilita as pessoas desenvolverem tarefas mais precisas e apreciar as cores com muito mais exatidão. Quanto mais luz tivermos no plano de trabalho, melhor será para distinguirmos as diferenças de cor, detalhes, texturas entre uma superfície e outra. Entretanto, essa melhoria da visão com o aumento do nível de iluminação não é ilimitada.

Nabil e Mardaljevic (2006) dizem que iluminâncias da luz natural na faixa de 100-500 lx são consideradas efetivas, seja como fonte de iluminação ou em conjunto com a iluminação natural; iluminâncias da luz natural na faixa de 500-2000 lux são frequentemente percebidas como desejáveis ou ao menos toleráveis; e iluminâncias

da luz natural mais altas do que 2000 lux estão sujeitas a produzir desconforto visual, térmico ou ambos.

Segundo a IESNA (2011), aumentar a iluminância aumenta a porcentagem de pessoas considerando a iluminação "boa". No entanto, à medida que a iluminância excede 2000 lux, a porcentagem considerando a luz "boa" diminui.

De acordo com o Referencial de avaliação da Qualidade Ambiental do Edifício - Edifícios Não Residenciais, do AQUA haverá ofuscamento acima de 2000 lux (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2016).

Conforme Gonçalves, Vianna e Moura (2011), o nível de iluminação tem dois fatores que a limitam:

i) Os níveis máximos possíveis de serem adotados são ditados por considerações puramente econômicas. Logicamente, quanto maior for o nível de iluminação adotado, maior será o consumo de energia, o custo inicial de instalação e o custo de manutenção;

ii) Vários estudos demonstram que existe um limite quantitativo para a iluminância (E) a partir do qual qualquer aumento não traz mais nenhuma melhoria para a acuidade visual. Este limite estaria por volta de 2.000 lux (ponto de saturação).

O ofuscamento é causado por luminâncias excessivas ou contrastes no campo de visão e pode prejudicar a visualização dos objetos. Conforme a NBR 8995-1 (2013), ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão e pode ser experimentado tanto como um ofuscamento desconfortável quanto um ofuscamento inabilitador. O ofuscamento pode também ser causado por reflexões em superfícies especulares e é normalmente conhecido como reflexões veladoras ou ofuscamento refletido.

O ofuscamento inabilitador é mais comum na iluminação exterior, mas também pode ser experimentado em iluminação pontual ou fontes brilhantes intensas tais como uma janela em um espaço relativamente pouco iluminado.

No interior de locais de trabalho o ofuscamento desconfortável geralmente surge diretamente de luminárias brilhantes ou janelas. Se os limites referentes ao ofuscamento desconfortável são atendidos, o ofuscamento inabilitador não é geralmente um grande problema. No entanto, é importante limitar o ofuscamento para evitar erros, fadiga e acidentes.

2.2 Luz natural

Segundo Fasi e Budaiwi (2015), a luz natural proporciona um ambiente interior agradável e atraente, que pode promover uma maior produtividade e desempenho.

A luz natural é considerada mais desejável que a artificial em salas comerciais e escritórios, pois o contato com o exterior ajuda a aliviar a tensão normalmente associada a este tipo de atividade e serve como estímulo ambiental (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

De acordo com a NBR 8995-1 (2013), a luz natural pode fornecer parte ou toda iluminação para execução de tarefas visuais. Ela varia em nível e composição espectral com o tempo e por esta razão a iluminação de um ambiente interno sofre variações.

As fontes de luz natural são o sol, o céu e as superfícies edificadas, que fornecem respectivamente luz direta, luz difusa e luz refletida ou indireta. Para avaliar a iluminação natural em um ambiente é necessário o conhecimento de três tipos básicos de céu: o claro, o parcialmente encoberto e o encoberto, que traduzem todas as possíveis variações da luz diurna.

Embora as condições do céu possam ser infinitamente variáveis, é útil compreender a luz natural a partir das duas condições extremas: céu nublado e céu limpo com a luz solar. Um projeto de iluminação natural que funciona em ambas as condições também funcionará sob a maioria das outras condições do céu. (LECHNER, 2015, p. 405)

Segundo Gonçalves, Vianna e Moura (2011), na maioria dos casos, o céu encoberto ou nublado pode ser utilizado para cálculo de iluminação natural, pois representa a pior condição em termos de quantidade de luz.

De acordo com Lechner (2015), embora a iluminação de um dia nublado seja relativamente baixa (5.000-20.000 lux), ainda é dez a cinquenta vezes maior que o que é necessário no interior. Sob um céu claro, a iluminação é bastante alta (60.000-100.000 lux), ou 100 a 200 vezes maior do que os requisitos para uma boa iluminação interior). A principal dificuldade com o céu claro é o desafio da luz solar direta, que não é apenas extremamente brilhante, mas muda de direção continuamente.

A aplicação mais prática do céu encoberto é o que chamamos de Fator de Luz Diurna (FLD), conceito que deu origem à contribuição da iluminação natural (CIN), descrita na norma brasileira NBR 15215-3 (2005). Com o cálculo da CIN, pode-se estimar a iluminação natural em um ambiente interior em um determinado ponto (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O Fator de Luz Diurna (FLD) é a razão entre a iluminação natural num determinado ponto num plano horizontal interno devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóboda celeste com uma distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminação num plano horizontal externo produzida pela abóboda celeste totalmente desobstruída, expressa como uma porcentagem.

A Contribuição de Iluminação Natural (CIN) equivale ao Fator de Luz Diurna aplicado para quaisquer condições de céu com distribuição de luminâncias conhecidas.

A NBR 8995-1 (2013) explica que as janelas podem fornecer um contato visual com o mundo exterior, o qual é preferido pela maioria das pessoas. Porém é necessário evitar o contraste excessivo e desconforto térmico causados pela exposição direta da luz do sol em áreas de trabalho e também fornecer um controle adequado da luz do sol através de protetores solares, de tal forma que a luz do sol direta não atinja os trabalhadores e/ou as superfícies no interior do campo de visão.

Neste sentido, o estudo de Freewan (2014) sobre dispositivos de sombreamento externos em escritórios na Jordânia, relata que a luz natural bem projetada e controlada em edifícios pode resultar em economias de consumo de energia para iluminação e melhorar a produtividade dos trabalhadores em escritório, mas para isso, requer uma iluminação suficiente, que evite o nível de iluminação excessiva, o ofuscamento e ganhos solares, resultantes de grandes aberturas.

Em um grande centro comercial construído em Hong Kong na década de 1970, onde a luz natural havia sido eliminada, os visitantes se sentiam tão desorientados que medidas extremas foram tomadas; enquanto na City Plaza, outro shopping center de tamanho similar, onde a luz natural havia sido fornecida em grande parte do espaço, foi um sucesso imediato (PHILLIPS, 2004).

Segundo o mesmo autor, em prédios de escritórios, onde as pessoas tendem a ficar na mesma atmosfera o dia todo, se os trabalhadores estão muito longe de uma janela a impressão da luz natural é bastante reduzida e há uma sensação de insatisfação com o local.

Entretanto, o projeto da iluminação natural não exige o aumento da área da janela, mas requer o projeto cuidadoso da fenestração para a distribuição, quantidade e qualidade adequadas da iluminação natural (LECHNER, 2015).

2.3 Aberturas

O objetivo principal de uma abertura, sob o ponto de vista da iluminação natural, é a admissão da luz natural para o interior associado a visão para o exterior (IESNA, 2011; PHILLIPS, 2004).

Segundo Baker, Fanchiotti e Steemers (1993), as aberturas são classificadas de acordo com o seu tamanho, levando em consideração a escala humana:

- Pequena: superfície inferior a 0,5 m²
- Média: superfície entre 0,5 e 2 m²
- Grande: superfície superior a 2 m².

Além dessa classificação, dependendo da relação entre a superfície da abertura e o espaço interior, a seguinte classificação também pode ser feita:

- Fenestração muito baixa: menos de 1%
- Fenestração baixa: 1 - 4%
- Fenestração média: 4 - 10% e
- Fenestração alta: 10-25%.
- Fenestração muito alta: maior que 25%.

Como regra geral, a fenestração alta ou muito alta pode causar problemas de controle térmico e brilho. Para evitar tais problemas, os elementos de controle podem ser introduzidos.

Fenestração baixa ou muito baixa pode produzir níveis de iluminação excessivamente baixos. Isso pode ser um grande problema quando os espaços a serem iluminados são usados para atividades que requerem um alto nível de iluminação.

As aberturas oferecem muitos benefícios para os trabalhadores, além de reduzir a necessidade de luz elétrica durante o dia (IESNA, 2011).

Moretti, Zinzi e Belloni (2014) observam que as aberturas são, de fato, importantes para uma visão agradável e para criar um ambiente interior confortável. Elas permitem a entrada da radiação solar nos edifícios, afetando a demanda de

aquecimento e resfriamento, portanto interferindo diretamente no conforto térmico interior.

Neste mesmo sentido, o estudo de Huang e Niu (2015) relata que as aberturas são elementos indispensáveis na arquitetura moderna e que através delas conseguimos obter iluminação natural agradável, o que é bom para a saúde e produtividade das pessoas no trabalho, além de integrar o ambiente interno com o ambiente externo. Em contrapartida, devido a sua transparência e resistência térmica relativamente baixa, as aberturas são sempre associadas a grande quantidade de ganho de calor por radiação solar, o que resulta em problemas no desempenho lumínico e térmico das edificações.

Segundo Lechner (2015), as aberturas representam cerca de 30% da carga de aquecimento e resfriamento de um edifício, e têm um grande impacto no conforto térmico devido ao seu efeito sobre a temperatura radiante média.

As aberturas, como principal fonte de luz do dia, têm um problema comum, que é a distribuição desigual de iluminação na sala. Por esta razão, se uma sala estiver iluminada por janelas em uma única parede, a profundidade da sala deve limitar-se à (extensão limite da sala)¹ para receber a luz do dia suficiente. No entanto, isso não é sempre possível e, portanto, vários sistemas inovadores de iluminação natural, como prateleiras de luz, lâminas reflexivas fixas e móveis, soleiras reflexivas, vidraças prismáticas, tubos de luz, etc., foram desenvolvidos para minimizar este problema (HASHEMI, 2014).

Segundo Lechner (2015), para entender as estratégias de iluminação natural, vale a pena examinar primeiro a iluminação a partir de uma janela. O nível de iluminação é maior apenas próximo a janela e rapidamente cai para níveis inadequados para a maioria das tarefas visuais. A visão do céu é muitas vezes uma fonte de brilho direto, e a luz solar direta que entra na janela cria relações de brilho excessivas (manchas de sol e superaquecimento durante o verão).

2.3.1 Referências de dimensionamento das aberturas

Uma referência para o dimensionamento das aberturas é o Código de Obras Municipal. Neste estudo, foi utilizado o Código de Obras do município do Rio Grande (Lei nº 2606, de 22 de maio de 1972), que exige como área mínima de

¹ A luz natural é considerada eficiente até a profundidade de uma vez e meia da altura do piso a parte superior da janela.

abertura, um oitavo ($1/8$) da superfície do piso, ou seja, 12,5% de sua área, tratando-se de compartimento de permanência prolongada diurna, como o caso de prédios administrativos.

Conforme Gonçalves, Vianna e Moura (2011), referente a prédios não habitacionais, há parâmetros de cálculo e dimensionamento desses dispositivos. Uma primeira aproximação para o correto dimensionamento das aberturas pode ser feito levando-se em conta a relação entre a sua superfície envidraçada e a superfície de piso do local, conforme o estudo de Mascaró (1990), como indicado na tab. 3.

Tabela 3 - Dimensionamento das aberturas segundo o estudo de Mascaró

Relação entre a Superfície envidraçada (Sv) e a Superfície do local (Sl)	Fatores que influem		Correções e recomendações	
	Profundidade do local		1½ a distância entre o piso e a borda superior da janela	
	Orientação da abertura	N – S	Sv/Sl= 15%	A Sv deve ser considerada a partir de 0,80m acima do piso
E – O		Sv/Sl= 10%	Até 0,95m as condições se mantêm	

Fonte: MASCARÓ, 1990

Os valores apresentados representam os limites entre os quais está assegurado um nível mínimo de iluminação onde não devem ocorrer excessos de ganhos ou perdas térmicas.

Para Lechner (2015), por cerca de metade do ano e metade de cada dia, a iluminação em dias claros é superior a 40.000 lux. Sob tais condições, uma abertura de 0,09 m² poderia iluminar aproximadamente 12 m² de área de piso, se a luz solar estiver distribuída uniformemente. Mesmo em dias nublados, essa mesma abertura ainda poderia iluminar cerca de 3,6 m² de área de piso. Segundo esse autor, a área da abertura como porcentagem da área do piso não deveria exceder 20% devido ao risco de superaquecimento do verão e de perdas de calor no inverno.

A IESNA (2011) sugere que, para satisfazer a maioria dos trabalhadores, as aberturas deveriam apresentar pelo menos 20% da área da parede que as contém.

2.4 Iluminação natural integrada a eficiência energética

A função dos espaços construídos ultrapassa o caráter de abrigo e do simples atendimento às necessidades humanas relativas à moradia, trabalho ou lazer. Os espaços constituem-se como uma extensão do cotidiano, da própria vida do homem, inclusive no que tange aos aspectos ambientais e de restrições energéticas, tornando-se imprescindível a busca por soluções mais sustentáveis que proporcionem redução do consumo de energia e maior eficiência das edificações.

O conceito de eficiência energética em uma edificação relaciona-se à obtenção de melhores padrões de conforto ambiental com menor consumo de energia. (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011).

Dentre os fatores que interferem diretamente nos padrões de conforto térmico e visual destaca-se a radiação solar, principal fonte de energia para o planeta, tanto como fonte de calor quanto como fonte de luz, elemento primordial para a eficiência energética das edificações. Através da arquitetura, a partir de premissas básicas de conforto térmico, visual e economia de energia, é possível aproveitar ou evitar a luz e o calor solar nos ambientes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O potencial de economia através do uso da luz natural é determinado pelos fatores de localização geográfica, clima, uso e características físicas do projeto. Nesse sentido, Hashemi (2014) diz que a qualidade e a distribuição da luz diurna dependem não apenas do tipo e da área de vidro, mas também de vários outros fatores, incluindo condições de céu, tempo, locais de construção, proporções de aberturas e orientações. A luz do dia não é, portanto, uma fonte confiável de iluminação, pois sua cor e a intensidade mudam constantemente. Por esse motivo, é necessária uma combinação de iluminação natural e elétrica nas construções.

As características do clima brasileiro permitem que a luz do dia possa ser utilizada com eficiência, sem necessidade de complementação pela iluminação artificial durante 70% do expediente diurno anual. Porém, a simples presença de iluminação natural, ou a possibilidade de obtê-la, em uma edificação não é sinônimo de eficiência energética ou conforto visual. É comum a realidade de edifícios dotados de amplas aberturas, ou painéis envidraçados, não conseguirem fazer um aproveitamento eficiente da iluminação natural, passando várias horas do dia com janelas fechadas e utilizando-se de luz artificial (SCARAZZATO; LABAKI; CARAM, 2002).

Fornecer luz natural adequada para áreas de trabalho pode ser um desafio, enquanto a iluminação elétrica é muito mais simples. Ele oferece iluminação consistente que pode ser facilmente quantificada, mas tem algumas desvantagens graves (LECHNER, 2015, p. 403).

No entanto, a luz natural pode ser utilizada para reduzir o consumo de energia com iluminação. Para que isso seja possível, deve-se buscar explorá-la de forma integrada com os sistemas de iluminação artificial. Dentro dessa ideia, sempre que a luz natural for adequada às necessidades de iluminação do ambiente, a iluminação artificial deve ser desativada ou reduzida. Alguns sistemas de controle, como os sensores fotoelétricos, podem ser empregados com essa finalidade. Importante considerar-se o balanço dos ganhos de calor que podem estar embutidos no ingresso de luz natural, pois isto pode incrementar o consumo de energia para condicionamento térmico.

Duas estratégias sistemáticas podem ser adotadas para reduzir o consumo por iluminação: o uso de luz natural e o emprego de sistemas mais eficientes de iluminação artificial. O ideal é que ambos os critérios sejam considerados em conjunto, trabalhando-se a iluminação como um sistema único (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Conforme Lechner (2015), pode-se confiar na maioria das pessoas para acionar a iluminação artificial quando necessário, mas dificilmente para desligar o sistema quando não é mais necessário. Isso acontece porque os olhos se adaptam facilmente ao dobro do necessário de iluminação, e o usuário da iluminação artificial acredita que esta esteja adequada às suas necessidades, mesmo quando a luz é muito mais do que o necessário para a tarefa. Consequentemente, sistemas de controle automáticos são necessários quando se quer usar a luz natural para economia de energia.

Existem vários tipos de sistemas de controle da luz artificial, como os sensores fotoelétricos, os sensores de presença, os programadores de tempo e os dimmers. Esses controles consistem em fotocélula colocada no teto da área de trabalho e um painel de controle do tipo ligar / desligar ou escurecimento. O tipo ligar / desligar é menos caro, enquanto o tipo de escurecimento poupa mais energia e é menos perturbador para os usuários. Para aproveitar esses controles automáticos,

os dispositivos de iluminação devem ser organizados para complementar a luz do dia disponível.

Não só as pessoas deixam as luzes elétricas acionadas quando há luz natural suficiente, mas também as deixam ligadas quando ninguém está na sala. Conseqüentemente, os sensores de ocupação são uma solução muito econômica para esse problema. Esses sensores usam radiação infravermelha ou vibrações ultra-sônicas para detectar a presença de pessoas.

Outra estratégia econômica interessante refere-se à distribuição das luminárias, que deveria ser feita de forma a complementar a luz natural disponível. O mais comum é existir um único interruptor que acende todas as luminárias ao mesmo tempo. No entanto, seria mais interessante acender separadamente as luminárias mais próximas à janela daquelas mais próximas à parede oposta (Fig. 1), com o intuito de integrar a iluminação natural com a artificial de forma harmônica durante o entardecer. Assim, as luminárias mais afastadas das janelas poderiam ser acesas antes das mais próximas, economizando energia e auxiliando na distribuição homogênea da luz no interior.

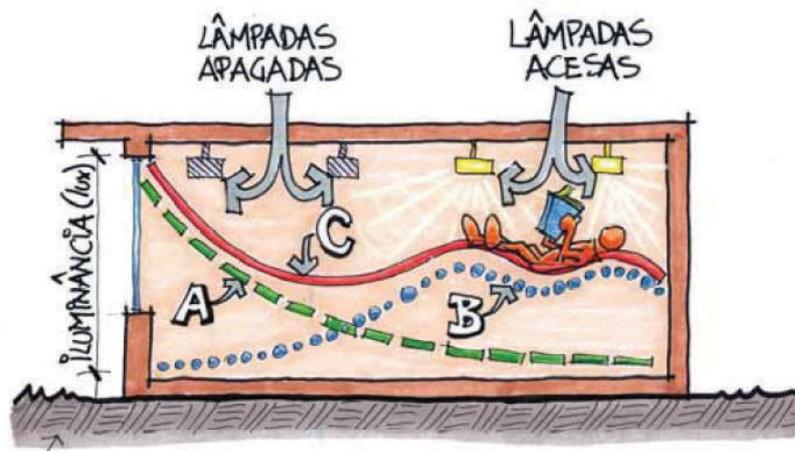


Figura 1 - Integração entre luz natural e artificial

Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014

Onde:

A= iluminação natural

B= iluminação artificial

C= combinação dos dois sistemas (distribuição dos níveis de iluminação muito mais uniforme)

Esta estratégia de acionamento das luminárias é um pré-requisito específico do sistema de iluminação, para que a edificação possa obter etiqueta nível "A", conforme Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C, 2010).

Uma outra técnica também valiosa a ser usada como complemento da luz natural é a iluminação de tarefa, pois permite o controle local das condições de iluminação de cada tarefa visual. Pode-se explorar a luz natural da melhor maneira possível e, quando esta for insuficiente para certas tarefas desenvolvidas no ambiente, pode-se acionar a iluminação de tarefa, economizando energia com a iluminação de fundo, que pode ser acionada somente quando a luz natural já não estiver mais presente.

Em suma, um edifício iluminado com luz natural pode economizar uma quantidade significativa de energia elétrica se a sua iluminação artificial permanecer desligada quando há luz natural suficiente.

Nesse sentido, segundo Gonçalves, Vianna e Moura (2011), o uso da luz natural em combinação com a artificial pode alcançar economias de 30% a 70%, e projetos que consideram o potencial de uso da iluminação natural chegam a alcançar a iluminância requisitada nos interiores de 80% a 90% das horas diurnas do ano, economizando consideráveis quantidades de energia elétrica.

No entanto, o uso indiscriminado da iluminação artificial tem consequências sérias sob o ponto de vista econômico, pois implica em gasto excessivo, desperdício de energia e maiores custos de instalação e manutenção.

Tem-se observado que, em países de clima quente, nos edifícios de uso público, a preocupação com o superaquecimento devido a ganhos de radiação solar direta tem levado ao uso de proteções solares superdimensionadas. O resultado é o bloqueio do acesso da mínima quantidade de luz natural requisitada para o cumprimento das tarefas, implicando uso permanente dos sistemas artificiais de iluminação e consequentes aquecimento e gasto de energia desnecessários (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011, p. 209).

Como visto, os sistemas de luz artificial são agentes de peso no consumo de energia total de uma edificação, principalmente em edifícios não residenciais. Em cidades de clima frio, edifícios de plantas profundas, com áreas extensas fora do

alcance da luz natural, podem ter um consumo energético para iluminação artificial maior que o referente ao aquecimento nos meses de inverno. Enquanto que no verão, o excesso de calor gerado pela luz artificial fatalmente resulta em aumento da demanda energética dos sistemas mecânicos de resfriamento.

A iluminação natural pode ter um impacto positivo ou negativo no desempenho geral da energia do edifício. Os ganhos solares diretos no interior do edifício podem exigir refrigeração adicional, enquanto que as reduções de carga de iluminação elétrica podem ter uma economia direta de custos de eletricidade, bem como uma redução indireta nas cargas de resfriamento. Um projeto bem concebido de iluminação natural pode proporcionar uma melhora significativa no desempenho geral da energia do edifício.

O uso da luz natural nos edifícios pode reduzir a necessidade de iluminação elétrica durante o dia, mantendo níveis de iluminação suficientes. Uma vez que o componente de calor oriundo da luz natural pode ser excluído do edifício com vidros espectralmente seletivos, de baixa emissividade, o resultado é um edifício que coloca uma demanda menor sobre o sistema de resfriamento. Em climas dominados por aquecimento, a iluminação natural permite o máximo benefício do aquecimento solar passivo (IESNA, 2011).

2.5 Desempenho lumínico x desempenho termoenergético

Um fator importante a ser considerado no projeto de iluminação é sua integração com as necessidades térmicas do edifício, pois a luz natural que penetra nos ambientes internos pelas aberturas, também podem transmitir calor para o interior.

Nesse sentido, conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014), é possível tirar partido ou evitar a luz e o calor solar em uma edificação, e o critério mais sábio para definir o que fazer é ter como premissas básicas o conforto térmico e lumínico dos ocupantes e a economia de energia. Porém, o que normalmente se faz é adotar um dos enfoques (luz ou calor) como prioridade, deixando o segundo para ser resolvido posteriormente com sistemas artificiais.

A arquitetura contemporânea tem adotado como linguagem o uso indiscriminado dos grandes planos envidraçados e é conhecido o efeito estufa que esses fechamentos transparentes proporcionam no verão em decorrência da incidência da radiação solar.

O excesso de radiação solar nos vidros leva os ocupantes a fecharem as cortinas, eliminando a permeabilidade visual e diminuindo a luz natural.

Cortinas e persianas colocadas no interior dos ambientes não são bons protetores solares, pois não impedem o efeito estufa (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011; LECHNER, 2015). Os raios solares que passam pelo vidro aquecem as superfícies internas e se transformam em radiação de onda longa (calor), permanecendo em grande parte dentro do ambiente. O ideal é que proteções solares sejam colocadas na parte externa da edificação, para evitar que a carga térmica solar indesejada não penetre no ambiente.

Boa iluminação natural não é necessariamente proporcional a grandes áreas de vidros. Vidro excessivo pode ocasionar ofuscamento e superaquecimento, além de que, devido à transmitância térmica elevada do vidro, é por ele que ocorrem as maiores trocas térmicas entre ambiente externo e interno, por condução e convecção. Por isso, a escolha do material de uma abertura, orientação solar e área, determinam não somente os níveis de iluminação, mas são também responsáveis pelos ganhos de calor interno.

Por outro lado, edificações não habitacionais abrigam um número maior de usuários do que as edificações habitacionais e as pessoas geram calor, aumentando a carga de refrigeração variável dos ambientes. As pessoas também suam, liberando umidade para o ar, elevando os níveis de umidade e aumentando o calor latente do ar interno (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

As edificações não habitacionais contêm equipamentos e eletroeletrônicos que são usados no ambiente de trabalho. Isso inclui computadores, fotocopiadoras, impressoras e uma diversidade de aparelhos adicionais, sendo que todos consomem eletricidade. Tais aparelhos emitem calor, aumentando a carga de refrigeração sensível e, em alguns casos, liberando umidade, o que aumenta o calor latente (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011).

Sabemos muito bem que o nosso tipo de clima exige soluções que se preocupem com a correta proporção entre aberturas e ganhos térmicos, condição “sine-qua-non” para atingirmos as melhores condições de habitabilidade dos edifícios. Portanto, é importante que estratégias de iluminação e de conforto térmico sejam trabalhadas conjuntamente para enfatizar a linguagem de nossa própria arquitetura, para que ela se fundamente em princípios concretos ditados por nossa realidade social,

econômica, climática e tecnológica (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011, p. 220).

Contudo, não é muito comum encontrarmos estudos que abordem esses dois aspectos simultaneamente. Conforme o estudo de Huang et al. (2012) sobre conforto ambiental no interior de escritórios na China, os fatores ambientais como conforto lumínico, térmico e acústico são abordados separadamente, apesar de terem efeitos combinados notáveis no desempenho do trabalho dos ocupantes.

2.6 Algumas estratégias de desempenho lumínico e termoenergético

2.6.1 Orientação solar

A importância da orientação em um edifício deve ser considerada no início, quando o arquiteto planeja a localização do prédio, com o objetivo de garantir a disponibilidade máxima de luz natural útil e luz solar para o interior.

Pode haver restrições severas, onde o edifício é configurado em um padrão de rua rígido, ou onde há obstruções externas severas, mas, mesmo nessas circunstâncias, o melhor uso da luz natural disponível deve ser considerado. O essencial é que a orientação de um prédio e o layout interior aproveitem a luz natural e que seja um fator tomado em consideração no início do projeto da edificação (PHILLIPS, 2004, p. 10).

Deve-se pensar na luz e no calor de forma integrada. A orientação da fachada, por exemplo, pode expor aberturas de dimensões idênticas a quantidades distintas de luz e calor solar. A trajetória do sol na abóbada celeste é diferente para cada orientação e para cada latitude.

Aos 32° de latitude SUL, como o caso de Rio Grande - RS, a melhor orientação para a localização das aberturas é a norte, devido a maior radiação solar incidente no inverno e menor radiação no verão. Apesar do calor que acompanha a luz solar estar sempre presente.

Por causa da utilidade da luz solar direta, a orientação norte geralmente é melhor para a luz natural. O lado norte de um edifício recebe luz solar de forma consistente ao longo do dia e do ano. Esta luz solar extra é especialmente bem-vinda no inverno, quando seu efeito de aquecimento é muitas vezes desejável. Os

dispositivos de controle solar também são muito mais efetivos no norte do que qualquer outra orientação (LECNHER, 2015).

A iluminação natural proveniente da orientação sul apresenta constância da luz. Segundo Gonçalves, Vianna e Moura (2011) "embora a quantidade de luz possa ser baixa, a qualidade é alta quando se precisa de uma luz branca fria. Esta orientação é a que menos recebe a luz solar direta, apresentando menores problemas de ofuscamento por excesso de radiação".

Conforme Lechner (2015), a segunda melhor orientação para a luz natural é a sul por causa da constância da luz. Embora a quantidade de luz sul seja bastante baixa, a qualidade é alta se uma luz branca fria for aceitável. Porém, isso pode ser um problema para climas frios, devido aos aspectos térmicos.

De acordo com Baker, Fanchiotti e Steemers (1993), no que diz respeito à orientação de uma janela, é feita referência à orientação geográfica, uma vez que o caminho do sol pode ter uma grande influência na iluminação natural. Deste ponto de vista, as janelas orientadas para o leste e o oeste foram consideradas equivalentes, uma vez que os efeitos gerais produzidos são os mesmos, embora ocorram em diferentes momentos do dia.

2.6.2 Prateleiras de luz

As prateleiras de luz são estruturas horizontais adicionadas normalmente a parte superior das aberturas laterais, com a intenção de redirecionar parte da luz direta e difusa incidente para o plano do teto. Elas redirecionam a luz entrante por reflexão. Ao mesmo tempo, protegem os ocupantes da penetração direta do sol.

As configurações de prateleiras de luz podem ser classificadas como interna, externa ou combinadas. A prateleira de luz interna se estende do plano da abertura para o espaço interno; a prateleira de luz externa se estende do plano da abertura para fora do prédio; e a combinada é uma prateleira de luz interna e externa, em uma unidade (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993).

Nesse sentido, segundo Lechner (2015), as prateleiras de luz são mais eficientes quando posicionadas no exterior das aberturas ao invés do interior, por receberem mais luz pela área da face superior exposta, além de sombrearem as janelas.

As prateleiras de luz proporcionam uma iluminação natural mais profunda e uniforme, ao mesmo tempo que eliminam o brilho que normalmente acompanha o uso de janelas altas (IESNA, 2011).

De acordo com Gonçalves, Vianna e Moura (2011) são observadas duas interferências na distribuição da luz no interior, pela aplicação das prateleiras de luz: sombreamento na parte do interior perto da janela e aumento da iluminância nas partes mais profundas do espaço, por efeito de reflexão de luz difusa pelo teto.

As prateleiras de luz previnem o ofuscamento quando colocadas acima do nível dos olhos e a janela posicionada abaixo da prateleira de luz é mais usada para contato visual com o exterior (LECHNER, 2015).

Segundo o mesmo autor, as prateleiras de luz além de melhorar a qualidade da luz natural também aumentam sua penetração no ambiente.

Para fins de predição da penetração da luz natural no interior dos locais é possível considerar que ela será de 1,5 vezes a altura do piso à verga em uma janela padrão, e de 2 vezes a altura do piso à verga em uma janela com prateleira de luz (Fig. 2) (GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; LECHNER, 2015).

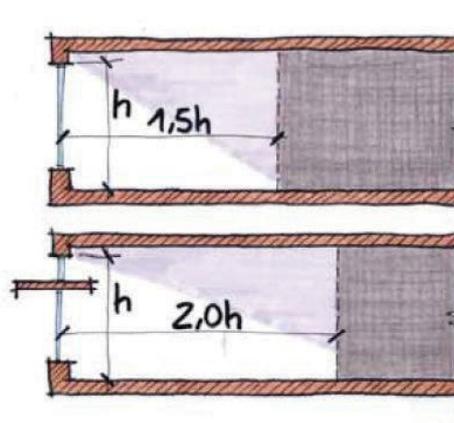


Figura 2 - Aumentando a penetração de luz no interior com prateleiras de luz

Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014

Por outro lado, com o uso das prateleiras de luz, a quantidade de luz que incide através de uma abertura lateral é naturalmente reduzida, no entanto é garantida uma distribuição mais homogênea da iluminação ao longo do espaço, tendo em vista o aumento da participação da reflexão do teto (BAKER;

FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993; GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011; IESNA, 2011; LECHNER, 2015).

Segundo Baker, Fanchiotti e Steemers (1993), as prateleiras de luz fixas provocam um efeito negativo na quantidade de luz, mais do que a contribuição positiva. Entretanto, podem funcionar como proteção solar frente à radiação direta. Portanto, as prateleiras de luz não são aplicáveis para fachadas orientadas a leste e oeste, onde, devido à baixa altura solar, o brilho da luz solar direta não pode ser evitado.

Por outro lado, Lechner (2015, p. 601), indica o uso de prateleiras de luz em aberturas orientadas para o norte, o leste e o oeste.

Raheem, Issa e Olbina (2014), em um estudo sobre aberturas sombreadas em prédio de escritórios na Flórida considerou que, o uso de um sistema de sombreamento de aberturas bem projetado seria uma estratégia eficiente que minimiza a luz solar direta que atinge o interior e, assim, reduz as cargas de energia globais.

Os autores também apontaram que "cada face de um edifício requer um tratamento de sombreamento diferente porque o ângulo de incidência do sol é diferente em cada face".

2.6.3 Vidros

Os vidros são responsáveis pela quantidade de luz que penetra nos ambientes. Esta variável é avaliada pelo coeficiente de transmissão das superfícies iluminantes. A radiação solar incidente em um fechamento transparente pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior, dependendo da absorvidade, refletividade e transmissividade do vidro. Os vidros, geralmente, apresentam alta transmitância térmica (U), ou seja, são bons condutores de calor.

Existem vidros dos mais diferentes tipos, que possuem capacidades distintas em absorver, refletir ou transmitir a radiação solar. Isto depende das características óticas do material, que variam com o comprimento de onda da radiação e com o ângulo de incidência.

De acordo com Baker, Fanchiotti e Steemers (1993), no espectro solar (Fig. 3) há duas regiões de particular importância para o estudo do comportamento dos fechamentos transparentes: a região de onda curta e a de onda longa. As ondas curtas se subdividem em visíveis (380 a 770 nm) e infravermelhas (760 a 3000 nm) e

as ondas longas são radiações infravermelhas emitidas por corpos aquecidos (>3000nm).

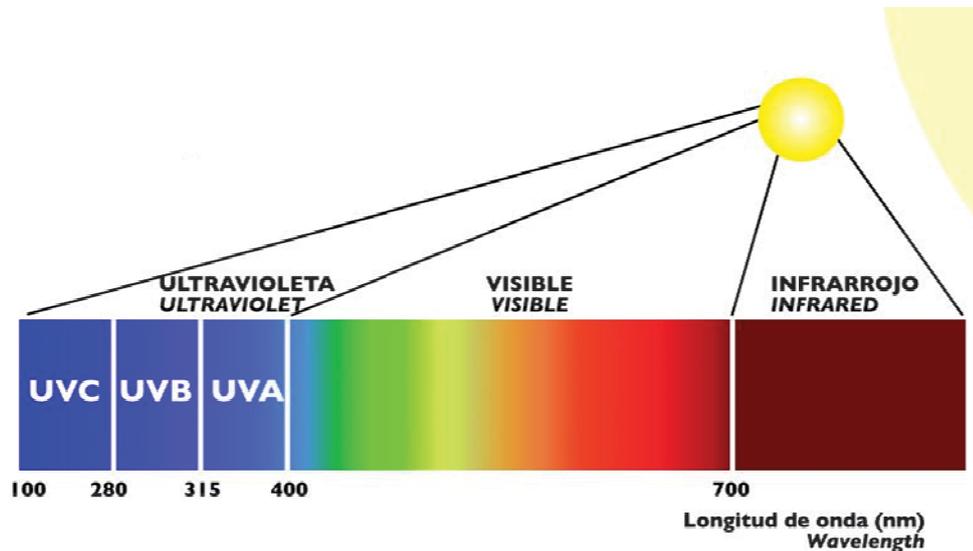


Figura 3 - Espectro solar

Fonte: <http://www.apoioescolar24horas.com.br/salaaula/estudos/fisica/035_ondas/>

A transmitância visível (VT ou T_{vis}) é o fator que quantifica a quantidade de luz visível que passa através dos vidros. Para a luz natural, a VT deve ser alta em comparação com a transmissão do infravermelho solar (LECHNER, 2015).

Os elementos transparentes estão sendo cada vez mais empregados em fachadas, pois o contato visual com o exterior e a luz natural são bem vindos em boa parte do tempo em que as pessoas exercem suas atividades diárias no espaço interior. Em alguns momentos, entretanto, a transparência é desnecessária ou até indesejável, pois pode provocar o superaquecimento do ambiente interno em períodos de maior calor e sol presente ou mesmo o resfriamento demasiado em períodos mais frios.

As trocas de calor entre o ambiente interno e o externo acontecem de forma mais intensa e rápida através dos fechamentos transparentes. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) "quando o vidro utilizado é o simples, a maior parcela do calor que penetra no ambiente quando o sol incide na abertura é a direta, que depende da alta transmissividade deste tipo de vidro". Para contornar esse problema, um vidro de transmissividade mais baixa deveria ser utilizado, porém, vidros assim, geralmente trazem o inconveniente de bloquearem boa parte da luz natural, deixando

o ambiente interior escuro e induzindo o projetista a superdimensionar a área de abertura.

Nesse mesmo sentido, para Huang e Niu (2015), grandes áreas envidraçadas nos edifícios, com vidro comum, causam um alto consumo de energia e reclamações extensas de inconveniência térmica e visual. Os autores alegam ainda que os arquitetos projetam áreas de vidro em seus edifícios de acordo com a estética, sem prestar atenção no conforto do ocupante e no consumo de energia.

O vidro da abertura desempenha um papel importante no desempenho de energia e tem um efeito significativo no consumo total de energia no edifício. O fluxo de calor através de uma abertura envidraçada contribui para o calor devido a radiação solar incidente que eventualmente aumenta a carga de resfriamento. Nos edifícios, o ganho líquido de energia através da abertura depende das propriedades térmicas do material e do vidro (FASI; BUDAIWI, 2015, p. 307).

Fasi e Budaiwi (2015) também afirmam que o uso adequado do tipo de vidro pode contribuir significativamente para a redução do consumo de energia de iluminação em edifícios de escritórios, pois é considerada uma estratégia passiva potencial.

Apresentam-se, a seguir, os diferentes tipos de vidros estudados nesta dissertação.

1) **Vidro comum** (transparente)

Os vidros comuns, também chamados de simples, são os de uso mais intenso nas edificações brasileiras, em virtude de seu baixo custo e disponibilidade no mercado. Entretanto, são altamente transparentes a ondas curtas e absorventes a ondas longas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Isto se traduz em boa visibilidade, porém alta transmissividade do calor solar para o interior.

Segundo Lechner (2015), os vidros comuns são apropriados quando se deseja o aquecimento solar no inverno, porém, quando se precisa diminuir o excesso de luminosidade, eles devem ser evitados.

Os vidros comuns apresentam alta absorvidade à onda longa, causando o fenômeno conhecido por efeito estufa. Ou seja, uma vez transmitido para dentro, o

calor encontra dificuldades em sair pelo vidro, sendo então acumulado no ambiente interno (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

De acordo com a IESNA (2011), vidros comuns transparentes transmitem a luz sem alterar sensivelmente sua direção ou cor, preservando a imagem.

2) Vidro absorvente

O vidro absorvente é composto por um vidro plano colorido através da adição de óxidos. É levemente pigmentado para diminuir a transmissão da onda curta com somente um pequeno aumento na absorção da parte visível (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Segundo Lechner (2015), o vidro absorvente foi desenvolvido para bloquear mais a radiação infravermelha do que a luz. Embora absorva uma proporção ligeiramente maior de infravermelho do que a luz visível, grande parte da radiação absorvida é reencaminhada para dentro e torna o vidro desconfortavelmente quente. Segundo o autor, embora os vidros absorventes reduzam a transmissão da luz, geralmente não diminuem muito o ganho de calor solar.

3) Vidro espectralmente seletivo (de baixa emissividade, tipo low-e)

O vidro espectralmente seletivo permite que a luz natural penetre normalmente no ambiente interno bloqueando simultaneamente a maior parte dos ganhos de calor solar no verão ou prevenindo as perdas de calor no inverno. Com isso, esse tipo de vidro permite ao usuário reduzir seu consumo de energia para iluminação artificial e para resfriamento ou mesmo aquecimento, tornando-se uma alternativa importante para a eficiência energética da edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 204).

Conforme Gonçalves, Vianna e Moura (2011), com vidros espectralmente seletivos, pode-se ter nas fachadas mais áreas envidraçadas para contato visual com o exterior, que trazem mais luz natural para o interior, sem os inconvenientes dos ganhos de calor solar nos períodos quentes do ano.

O vidro ideal para atingirmos um bom aproveitamento da luz natural sem ganhos excessivos de calor nos edifícios é o low-e, que reflete o

infravermelho, mas não a parte visível da luz natural. No entanto, esse tipo de vidro não é apropriado onde o aquecimento solar é desejado, porém, é apropriado para o controle de luminosidade (LECHNER, 2015, p. 510).

O estudo de Fasi e Budaiwi (2015), sobre desempenho energético de aberturas em prédios de escritórios, obteve uma redução de 16% para as aberturas simuladas com vidros do tipo low-e, comparadas com as de vidro simples transparente.

Hashemi (2014), diz que, embora esses vidros melhorem o desempenho térmico do edifício, eles reduzem consideravelmente a luz visível transmitida do exterior para o interior. Normalmente, os sistemas low-e transferem 50% da luz visível, enquanto os vidros comuns simples transmitem 90% da luz visível e os vidros comuns duplos, 70% da luz visível.

A tab. 4 apresenta a transmissividade dos vidros aqui caracterizados.

Tabela 4 – Transmissividades dos vidros estudados

Transmissividade Luminosa ou Visível	
Vidro absorvente verde de 6mm	75%
Vidro comum transparente 6mm	88%
Vidro low-e 6mm	58%
Transmissividade Solar	
Vidro absorvente verde de 6mm	49%
Vidro comum transparente 6mm	78%
Vidro low-e 6mm	23%

Fonte: Programa Window 7.4; CEBRACE, 2017; AMORIM et al., 2014; LAMBERTS; MILBRATZ, 2007

2.6.4 Cores

A cor exerce influência significativa nos aspectos relativos à iluminação natural e artificial devido a variância das refletâncias. A aplicação de cores claras em grandes superfícies, com contrastes adequados, associado a um bom planejamento da iluminação, além de resultar em economia do consumo de energia, e aumentos de produtividade, pode reduzir as

ocorrências de ofuscamento e fadiga visual, causadora de acidentes de trabalho. (SILVA, 1995).

O uso adequado da cor nos ambientes de trabalho é um fator preponderante, podendo auxiliar na saúde, segurança e bem-estar das pessoas que nele trabalham. Além do benéfico efeito psicológico devido às boas condições ambientais, há uma diminuição no risco de fadiga visual e conseqüente diminuição de trabalhos falhos, decorrendo deste modo, em um aumento na eficiência da produção.

Conforme Silva (1995), a cor é reconhecida como um importante fator de realização de um quadro de adaptação ao trabalho, e através de sua utilização adequada, procura-se harmonia estética, conforto visual, conservação e limpeza dos ambientes, incentivo à convivência social, programação visual e caracterização de status de função / periculosidade para obter maior eficiência e produtividade por parte do trabalhador, redução da fadiga visual, aumento da segurança no ambiente de trabalho e redução dos afastamentos de trabalhadores (abstenções) devido a ocorrência de acidentes de trabalho.

Segundo a IESNA (2011), o efeito visual de um espaço de escritório depende das variações de brilho e cor percebidas. Os efeitos podem ser alcançados através da variação das refletâncias da superfície e da iluminância.

Tanto as refletâncias de superfície como a distribuição de energia espectral de fonte de luz desempenham papéis importantes na cor do ambiente de iluminação do escritório. A cor adiciona interesse visual a um espaço, tornando-o um lugar mais convidativo e agradável para o trabalho (IESNA, 2011).

Segundo Baker, Fanchiotti e Steemers (1993), para reduzir ao máximo os esforços de adaptação do olho, é necessário estar ciente de que as áreas que constituem o campo visual da tarefa a cumprir não devem apresentar contraste elevado.

Como as paredes recebem mais poeira do que o teto, assim como se encontram mais diretamente relacionadas à tarefa visual exercida pelo trabalhador, devemos adotar para elas, um fator de reflexão menos elevado, ao passo que o teto, deve apresentar um fator reflexão mais elevado,

devido ao fato de se constituir a principal superfície de reflexão da luz natural proporcionada por uma abertura lateral. (SILVA, 1995).

Alguns acreditam que, onde os trabalhadores estão expostos ao mesmo ambiente por longos períodos de tempo, a cor nesse ambiente pode afetar o desempenho de forma positiva ou negativa, mesmo que os trabalhadores não estejam conscientes desse efeito (IESNA, 2011).

Grandes variações de brilho podem ser problemáticas. Os interiores do escritório devem ser iluminados para proporcionar uma boa visibilidade sem brilho distrativo. O reflexo direto e refletido deve ser evitado; no entanto, é importante fornecer variação suficiente em luminância ou cor para contribuir para um ambiente estimulante e atraente. Onde não há tarefas visuais prolongadas, as variações de brilho são encorajadas, usando cores atraentes e pontos focais apropriados de iluminâncias altas para chamar a atenção. (IESNA, 2011)

Segundo Lechner (2015), o uso de paredes de cor clara (branco), ajuda a criar a melhor e mais eficiente iluminação. As superfícies de cor clara também criam a percepção de um espaço bem iluminado usando a menor quantidade de luz.

Além do aspecto visual, a cor influencia no comportamento térmico dos edifícios e conseqüentemente na sua eficiência energética, pois em um prédio as trocas de calor e luz entre os meios exterior e interior têm como essência a sua envoltória. Seu comportamento térmico depende de diversas variáveis e da interação destas com o ambiente construído (SCOPEL, 2015).

2.7 Estado atual da arte

Para o desenvolvimento desta dissertação foram revisados artigos e dissertações, cujas sínteses das mais relevantes são aqui apresentadas e organizadas conforme as tab. 5 e 6.

2.7.1 Desempenho lumínico

O artigo de Didoné e Bittencourt (2006), analisou o desempenho lumínico de salas de aula dotadas de protetores solares, na cidade de Maceió, utilizando como metodologia simulação através do programa Lumen Micro v.2000. Como resultado mostrou que os protetores solares podem funcionar como anteparos para a radiação direta no interior das salas de aula, diminuindo o contraste de luminosidade e aumentando a uniformidade luminosa, além do espaçamento entre eles influenciar tanto na distribuição da luz quanto na iluminância obtida.

A dissertação de Silva, A. (2011), avaliou o desempenho termo-lumínico de uma edificação de ensino superior que possui brises soleils como dispositivo de proteção solar, na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), utilizando como metodologia estudo de caso em três ambientes da Faculdade de Enfermagem, através de medições in loco. Como resultado observou que havia necessidade de adequação da arquitetura da edificação às condições climáticas locais. Verificou também que alguns *brises soleils* cumpriam sua função no horário desejado na maioria dos meses do ano, ao contrário de outros que não protegiam o ambiente de forma eficiente no horário desejado. Além do desconforto térmico, constatou que haviam deficiências quanto a iluminação natural e artificial nos ambientes analisados.

Dias (2011) analisou o desempenho lumínico de salas de aula com cinco geometrias diferentes, na cidade de Aracajú, no estado de Sergipe, utilizando como metodologia simulação através do programa TropLux. Os resultados demonstraram que intervenções isoladas na sala de aula padrão, como o aumento da refletância do teto ou a inclusão de um teto rebaixado plano, não traziam melhorias em relação ao seu desempenho lumínico dentro do intervalo de iluminâncias de 300 a 2000 lux. Apesar disso, apresentou uma evolução no desempenho lumínico com o uso de um elemento de controle.

O artigo de Laranja, Alvarez e Matarangas (2013), analisou a influência da orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno na extensão de sua profundidade. Na análise foram realizadas comparações dos percentuais de valores de iluminância do ambiente interno com os intervalos das UDI (*Useful Daylight Illuminance*), na cidade de Vitória, utilizando como metodologia simulação, através do programa TropLux. Como principal resultado constatou as

seguintes extensões da profundidade do ambiente em função dos percentuais que se localizam na faixa suficiente das UDI ($500 \leq \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$): para céu encoberto a profundidade do ambiente é de até 1,0m; para céu parcialmente nublado esta profundidade é de até 1,5m; para céu claro, na orientação Sul, Leste e Oeste, a profundidade é de 2,0m, e para a orientação Norte esta profundidade limita-se a 1,5m.

O estudo de Carvalho (2014), analisou o desempenho lumínico para projetos de escolas em Natal-RN, utilizando como metodologia a simulação através do programa Daysim. Os resultados comprovaram que a obtenção de uma iluminação natural com qualidade depende principalmente da eficácia do sistema de sombreamento para evitar o ofuscamento. Recomendações bioclimáticas de aberturas grandes e sombreadas parcialmente (com incidência de radiação solar direta na abertura) resultaram em iluminâncias muito acima do critério de aceitação.

Fasi e Budaiwi (2015) buscaram investigar a economia de energia quando a luz natural e a luz artificial são integradas, enquanto mantêm o conforto visual. Na metodologia foi usado o programa de simulação DesignBuilder. Foram simulados três tipos diferentes de aberturas envidraçadas. Como resultado, observaram que para todos os tipos de aberturas propostas, houve redução significativa no consumo anual de energia de refrigeração. Obtiveram uma redução de 14% no consumo total de energia do edifício com a integração da luz diurna para as aberturas de vidro transparente duplos e uma redução de 16% para as aberturas de vidro low-e duplos. Observaram também que, em todos os casos, o conforto visual não foi alcançado. Porém, ao empregar o controle automático de proteção de interiores, o conforto visual foi alcançado sem redução significativa na economia de energia.

Vlachokostas e Madamopoulos (2015) analisaram a proposta de uma fachada prismática prensada líquida (LFPL), em um espaço de escritórios localizado em Nova York. Esta fachada LFPL poderia realizar a captação de energia solar com o potencial de oferecer níveis aprimorados de iluminação natural para espaços de escritórios e auxiliar termicamente como aplicações secundárias. Como metodologia utilizaram simulação computacional através do programa LightTools. Como resultados, observaram que o sistema LFPL consegue uma penetração de luz natural mais profunda, uma melhor uniformidade e maiores níveis de iluminação em comparação com um espaço de escritório sem o sistema LFPL. Além disso, foi

discutido o potencial do sistema LFPL para captar o calor da radiação solar infravermelha dentro do volume líquido (por exemplo, água) e usá-lo para auxiliar em aplicações de energia térmica secundária. O estudo foi ampliado para várias outras cidades representativas nos EUA, cobrindo diferentes zonas climáticas.

Cargnelutti (2016) avaliou o desempenho lumínico do protótipo de casa sustentável da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Como metodologia utilizou simulação através do programa Rhinoceros com o plugin Diva. Os principais resultados obtidos foram que o protótipo atendia dinamicamente aos requisitos mínimo, intermediário e superior de iluminâncias recomendados pela NBR 15575-1. Nas avaliações pelo RTQ-R todos os ambientes de permanência prolongada e a cozinha / área de serviço atendiam dinamicamente aos requisitos pelo método de simulação, bem como, ao teste prescritivo de profundidade de ambientes com iluminação natural proveniente de aberturas laterais. Entretanto, o protótipo não atingiu o nível mínimo de 60% de refletância do teto e apenas a cozinha / área de serviço atendia ao mínimo de 12,5% da área do piso destinado às aberturas para o acesso de iluminação natural no interior do protótipo. De maneira geral o protótipo obteve bom resultado nas avaliações de desempenho da iluminação natural, entretanto, o dimensionamento compacto que o mesmo apresentava, por se tratar de uma habitação de interesse social (HIS), e a presença dos baixos índices de refletâncias nas suas superfícies internas, demonstrou a possibilidade de aperfeiçoamento nos critérios estabelecidos pelas normas brasileiras naquilo que se refere à iluminação natural.

A tab. 5 apresenta uma síntese dos autores estudados sob o aspecto do desempenho lumínico, apontando a metodologia utilizada e as variáveis de análise.

Tabela 5 - Síntese dos estudos sobre desempenho lumínico

DESEMPENHO LUMINOSO				
	TÍTULO	AUTOR/ANO	METODOLOGIA	VARIÁVEIS DE ANÁLISE
1)	Avaliação do desempenho de diferentes configurações de protetores solares na iluminação natural de salas de aula	Evelise Didoné; Leonardo Bittencourt / 2006	Simulação (Lumen Micro v. 2000)	Iluminância (CIN) e uniformidade luminosa
2)	A influência dos protetores solares no comportamento da luz natural em edifícios escritórios	Viviane Cruz e Silva / 2011	Simulação (Daysim)	Iluminância (DA)
3)	Análise do uso da luz natural em salas de aula: estudo de caso em Aracaju-SE	Amanda Dias / 2011	Medição in loco e simulação (TropLux)	Iluminância (DA e UDI)
4)	Análise da influência da orientação das aberturas na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno na extensão de sua profundidade	Andrea Laranja; Cristina Alvarez; Kamila Matarangas / 2013	Simulação (TropLux)	Iluminância (UDI)
5)	Simulação de desempenho luminoso para salas de aula em Natal - RN	Juliana de Carvalho / 2014	Simulação (Daysim)	Iluminância (UDI)
6)	Desempenho energético de janelas em prédios de escritórios considerando integração de iluminação natural com artificial	Mohammed Fasi; Ismail Budaiwi / 2015	Simulação (DesignBuilder)	Ofuscamento e FLD
7)	Fachada prismática prensadaliquida (LFPL) para iluminação natural aprimorada em edifícios comerciais de arranha-céus	A. Vlachokostas; N. Madamopoulos / 2015	Simulação (LightTools)	Iluminância (DA e UDI)
8)	Avaliação do desempenho de iluminação natural no protótipo de casa popular eficiente da UFSM	Mateus Cargnelutti de Souza / 2016	Simulação (Rhinoceros for Diva)	Iluminância (DA e UDI)

Fonte: Autora, 2017

Observa-se que as avaliações de desempenho lumínico referem-se principalmente à espaços de trabalho, sejam salas de aula ou escritórios, e que a metodologia dominante nos trabalhos consultados foi a simulação dinâmica de valores de iluminância em suas grandezas correlatas, como autonomia de iluminação natural (*Daylight Autonomy* - DA), iluminância útil da luz natural (*Useful Daylight Illuminances* - UDI), Fator de Luz Diurna (FLD) e Contribuição de Iluminação Natural (CIN).

A autonomia de iluminação natural (*Daylight Autonomy* - DA) é a porcentagem de horas diurnas ocupadas por ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor previamente estipulado, somente com iluminação natural (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

A iluminância útil da luz natural (*Useful Daylight Illuminances* - UDI) é a porcentagem de horas diurnas em um ano em que a iluminância no plano de

trabalho atinge um valor dentro de uma variação determinada como confortável (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

Conforme Moraes e Pereira (2014), as técnicas de avaliação padrão, como a abordagem do FLD, são cada vez mais reconhecidas como não adequadas à sua finalidade e precisam de modernização. Deste modo, as simulações dinâmicas vêm sendo estudadas pela comunidade acadêmica como forma mais adequada de avaliar a iluminação natural.

Um desempenho anual da iluminação natural integra variações de um ano completo, que é altamente dependente das condições climáticas locais, especialmente a luz fornecida a partir da luz solar direta contra o céu e as nuvens (IESNA, 2011).

Os métodos de simulação baseados em computador para a avaliação da luz natural oferecem flexibilidade que a fotometria em modelos de escala e os métodos de medição in loco às vezes não oferecem. Eles são especialmente valiosos quando há a necessidade de avaliar uma variedade de opções. As simulações baseadas em computador fornecem um meio conveniente de avaliar parametrizadamente projetos em comparação com outras alternativas (IESNA, 2011).

2.7.2 Desempenho lumínico e termoenergético

Rocha e Pereira (2011), avaliaram o desempenho lumínico e energético, considerando o aproveitamento da luz natural e o uso de sistemas variados de controle de iluminação artificial e natural, em um ambiente interno no edifício de escritórios em Florianópolis. Utilizaram como metodologia a simulação através de dois programas: Daysim e EnergyPlus. Como resultados, identificaram as diferenças entre os modelos com diferentes sistemas de venezianas. O comportamento do usuário passivo interferiu negativamente no desempenho da iluminação natural no interior do ambiente, independente do padrão do sistema de controle de venezianas. O uso de sistemas de controle de iluminação artificial integrados a luz natural resultou em economia de energia nos modelos estudados e também influenciou nos resultados de condicionamento de ar, que apresentou seu consumo reduzido em torno de 10% devido a diminuição das cargas internas geradas pelo sistema de iluminação artificial. Os sistemas dimerizáveis proporcionaram maiores reduções no consumo de energia com iluminação artificial, alcançando uma economia de até 70%

com as cortinas abertas. Já os sistemas de controle que consideram a ocupação, como o sensor de presença, obtiveram resultados iguais de consumo, uma vez que um mesmo padrão de ocupação foi utilizado para todas as simulações.

Silva, V. (2011) analisou o impacto dos dispositivos de proteção solar em edificações de escritórios. Como metodologia usou simulação através do programa Daysim, para prever a autonomia da luz natural, com um índice de iluminância recomendado, durante um ano de referência, através do uso de métrica dinâmica do Daylight Autonomy (DA). Como resultado, afirmou sobre o comportamento dos protetores em relação à orientação, que somente a orientação norte teve uma resposta positiva em relação ao uso dos três tipos de protetores. Com relação ao tipo de protetor, verificou que para protetores horizontais, para a cidade de Maceió, de latitude menor, não ocorreu diferença significativa com o uso dos protetores solares. Para protetores verticais, percebeu que não houve alteração significativa para as duas cidades que tiveram a necessidade deste tipo de protetor, podendo afirmar que o uso de protetor vertical, se comparado com o horizontal, apresentou melhor comportamento. Em relação ao percentual de área de fachada (PAF), afirmou que a pior situação foi para PAF de 25% e com relação a análise da geometria dos protetores, não evidenciou grandes diferenças entre o comportamento da luz natural com o uso de protetores únicos, duplos ou filetados. Concluiu que nas cidades localizadas em latitudes menores, o uso de protetores solares melhora o aproveitamento da luz natural.

O artigo de Lima e Bittencourt (2012), analisou a influência da inclinação, espaçamento e refletância de brises horizontais de mesma máscara de sombra na iluminação natural e nos ganhos térmicos em ambientes de escritório, na cidade de Maceió, utilizando como metodologia simulação através dos programas TropLux 5 e DesignBuilder 3. Como resultados observou que a escolha entre diferentes configurações de brise, mesmo com máscaras de sombra iguais, altera o desempenho térmico e lumínico do espaço. Brises mais inclinados em relação à horizontal tendem a apresentar menor iluminância e menor quantidade de ganhos solares. Quanto à cor das aletas, observou que cores de refletância igual a 0,5 podem ser suficientes para garantir níveis médios de iluminância acima de 500lx. Já o efeito da variação no espaçamento entre as aletas nas situações estudadas foi pouco significativo ou dependente dos demais parâmetros analisados.

O estudo de Hashemi (2014), investigou soluções adaptadas para distribuição desigual da luz do dia em um prédio de escritórios, no Reino Unido, através da aplicabilidade de painéis (laminados de madeira de 300 mm feitos de madeira, com uma face coberta com fitas de alumínio), que funcionavam como um sistema de proteção solar. Este estudo avaliou a efetividade do sistema quando atuava como pára-sol, prateleira de luz, teto reflexivo e piso reflexivo sobre as condições de céu claro, céu nublado e céu parcialmente nublado. O método foi realizado através de medições no local e simulação computacional através do programa IES (VE). De acordo com os resultados, o sistema melhorou significativamente a distribuição da luz e reduziu a necessidade de iluminação artificial em 60%.

Freewan (2014) examinou o efeito do uso de dispositivos de sombreamento em escritórios voltados para o sudoeste da Universidade de Ciência e Tecnologia da Jordânia (JUST). A metodologia usada foi simulações computacionais com os programas IES / SunCast e Radiance. A análise foi realizada em três dispositivos de sombreamento fixos (aletas verticais, aletas diagonais e “caixa de ovos”). Os resultados mostraram que a temperatura em escritório com dispositivos de sombreamento em comparação com o escritório sem dispositivos de sombreamento foi reduzida ao nível aceitável. Já o aspecto lumínico foi melhorado, controlando o nível de iluminação, melhorando a uniformidade e eliminando o brilho (ofuscamento). Os escritórios com aletas diagonais e dispositivos de sombreamento de “caixa de ovos” funcionaram melhor em comparação com o escritório com aletas verticais e sem proteção.

Raheem, Issa e Olbina (2014), analisaram os efeitos de diferentes conjuntos de janela (vidros e protetor solar), em um prédio de escritórios, orientada para o sul de Miami, Flórida. Os diferentes conjuntos de janela foram: 1) vidro duplo low-e sem proteção solar, 2) vidro duplo low-e com proteção solar de brises horizontais e 3) vidro triplo com duplo low-e. O método foi desenvolvido através de simulação computacional com o programa EnergyPlus - COMFEN. Os resultados demonstraram que, referente ao consumo energético, o conjunto 2 teve o melhor desempenho, enquanto que o conjunto 3 apresentou o melhor desempenho térmico. Quanto ao desempenho lumínico, o melhor conjunto foi o 1 e posteriormente o 2, porém o conjunto 3 apresentou a melhor uniformidade luminosa.

Huang e Niu (2015), estudaram um sistema de envidraçamento super isolante de sílica-aerogel, em um prédio comercial em Hong-Kong. Para analisar o desempenho de energia e o desempenho visual do sistema foram realizadas simulações com os programas EnergyPlus e Radiance. O resultado indicou que, em comparação com o vidro padrão (duplo low-e, com 6mm cada), as vidraças de aerogel de sílica apresentaram um período de conforto térmico 4% mais longo, enquanto o consumo de energia do sistema de condicionamento de ar foi reduzido em 4-7%. O desempenho das vidraças de aerogel de sílica foi quase igual ao do vidro padrão. Concluíram também que, sob o ponto de vista do conforto visual, o efeito de brilho e a zona brilhante perto da janela poderiam ser reduzidos significativamente, enquanto que o nível de iluminação interior atendeu à expectativa.

Cartana, Pereira e Berté (2016), avaliaram o desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica. Como metodologia foram desenvolvidos modelos de elementos de controle utilizando a suíte Rhinoceros+Grasshopper. Tais modelos foram avaliados empregando os aplicativos Diva-for-Rhino e Autodesk Ecotect Analysis. O desempenho térmico foi avaliado por meio da admissão da radiação solar incidente e de máscaras de sombra, enquanto o desempenho lumínico foi avaliado pela admissão e distribuição da luz natural, utilizando as medidas: FLD (Fator de Luz Diurna), DA (*Daylight Autonomy*) e UDI (*Useful Daylight Illuminances*). Como principais resultados, os elementos que possuíam componentes direcionais foram os únicos que apresentaram capacidade seletiva de admissão de radiação entre inverno e verão. Os elementos que possuíam componentes horizontais apresentaram distribuições mais homogêneas da iluminação natural.

O estudo de Vettorazzi et al. (2016), propôs um dispositivo complementar a janelas e fachadas, que aumentasse a eficiência energética da edificação, sem custos mensais de manutenção. Tratava-se do Filtro Sol-Ar, que apresentava duas funções principais: i) proteção contra a radiação solar indesejada, diminuindo a radiação solar no interior da edificação e ii) incremento das condições de ventilação natural, mesmo com a janela fechada como em períodos noturnos e de chuva. Foram obtidos dados de desempenho do dispositivo quanto a radiação solar/sombreamento, iluminação natural e ventilação. Utilizaram como metodologia simulação através dos programas Autodesk Revit 2016, Flow Design, Daylight

Visualizer 2.8.4 e Design Builder 4.2. E, como resultados, verificaram que além de viável para diferentes latitudes brasileiras, a utilização do dispositivo poderia aumentar o conforto térmico do usuário, reduzindo o ganho solar em torno de 36% e diminuindo o consumo de energia elétrica, além de melhorar as condições de iluminação natural dos ambientes e contribuir para a eficiência energética das construções.

Fathoni, Chaiwiwatworakul e Mettanant (2016), investigaram o desempenho energético de uma abertura com brises horizontais localizados entre dois painéis de vidros verdes, totalizando 10cm entre os vidros, em uma sala de escritório típica da Tailândia, através de medições no local e validação em simulação computacional no programa Visual Basic 6. Os resultados mostraram que a abertura com brises entre os painéis de vidro, poderia economizar de 25 a 70% do consumo de energia elétrica total, para o sistema de ar condicionado e iluminação no mesmo escritório, se comparada com abertura de vidro com reflexão térmica, dependendo do ângulo dos brises.

O artigo de Queiroz e Thieme (2016), analisou a iluminação natural (iluminância) e o conforto térmico de uma sala comercial em um edifício empresarial, na cidade de Fortaleza - CE, onde foi acrescentado um elemento de controle solar, utilizando como metodologia simulação, através dos programas Solar Tool 2.0, Autodesk Ecotect Analysis 2011 e Comfen 5. Os resultados obtidos indicaram que a iluminação natural não é eficiente em ambos os casos, necessitando de iluminação artificial para o trabalho necessário. Porém, para o quesito de conforto térmico, a sala com brise-soleil apresentou uma redução de energia elétrica de 33% para resfriamento e de 27% para ventilação.

A tab. 6 apresenta uma síntese dos autores estudados sob o aspecto do desempenho lumínico e termoenergético, apontando a metodologia utilizada e as variáveis de análise.

Tabela 6 - Síntese dos estudos sobre desempenho lumínico e termoenergético

DESEMPENHO LUMINOSO E TERMOENERGÉTICO				
	TÍTULO	AUTOR/ANO	METODOLOGIA	VARIÁVEIS DE ANÁLISE
1)	Avaliação do consumo de energia de edificações considerando a luz natural e sistemas de controle através de simulação computacional integrada	Ana Paula Rocha; Fernando Pereira / 2011	Simulação (Daysim e Energy Plus)	Iluminância (DA) e Consumo Energético
2)	Avaliação do desempenho termo-lumínico de uma edificação com brises soleils: estudo de caso	Aline da Silva / 2011	Medição in loco	temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e iluminância interna e externa
3)	Efeito do espaçamento, inclinação e refletância de brises horizontais com mesma máscara de sombra na iluminação natural e ganhos térmicos em escritórios em Maceió-AL	Kamila de Lima; Leonardo Bittencourt / 2012	Simulação (TropLux 5 e Design Builder 3)	Iluminância e ganhos térmicos solares
4)	Funções de iluminação natural e sombreamento solar de um inovador sistema de painéis reflexivos	Arman Hashemi / 2014	Medição in loco e simulação (IES - VE)	Iluminância, uniformidade luminosa, ofuscamento, contraste e temperatura
5)	Impacto de dispositivos de sombreamento externos no desempenho térmico e luminoso de escritórios de clima quente	Ahmed Freewan / 2014	Simulação (IES / SunCast e Radiance)	Iluminância e temperatura
6)	Impactos de diferentes montagens de janelas e sombreamento, referente a energia, conforto térmico e iluminação natural, para um prédio de escritórios na Flórida	Adeeba Raheem; Raja Issa; Svetlana Olbina / 2014	Simulação (Energy Plus)	Iluminância, aquecimento, resfriamento e ventilação
7)	Desempenho visual e energético do sistema de vidros de aerogel de sílica em edifícios comerciais de Hong Kong	Yu Huang; Jian-lei Niu / 2015	Simulação (EnergyPlus e Radiance)	Iluminância, uniformidade luminosa e temperatura
8)	Avaliação de desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica	Rafael Cartana; Fernando Oscar Ruttkay Pereira; Eduardo João Berté / 2016	Simulação (Rhinoceros+Grasshopper)	Térmico (radiação solar e máscara de sombra)/ Luminoso (Iluminância:FLD, DA e UDI)
9)	Proposta de um dispositivo para aumentar o desempenho de janelas e fachadas em termos de ventilação natural e auxiliar no controle da radiação solar direta	Egon Vettorazzi; Helenice Sacht; Marcelo Langner; Darwin Camacho / 2016	Simulação (Autodesk Revit 2016; Flow Design; Daylight Visualizer 2.8.4 e Design Builder 4.2.)	Radiação e sombreamento / Ganhos térmicos solares / Ventilação / Iluminância
10)	Análise de energia da iluminação natural a partir de uma janela vitrificada com dois painéis com lâminas horizontais fechadas no trópicos	Andhy Fathoni; Pipat Chaiwiwatworakul; Vichuda Mettanant / 2016	Medição in loco e Simulação (Visual Basic 6)	Iluminância e temperatura
11)	Edifício comercial: uso de proteção solar na avaliação da iluminação e refrigeração através de simulação	Juliana Queiroz; Camila Thieme / 2016	Simulação (Solar Tool 2.0, Autodesk Ecotect Analysis 2011 e Comfen5)	Iluminância e consumo de energia

Fonte: Autora, 2017

A respeito da literatura consultada sobre desempenho lumínico e termoenergético, observou-se uma tendência a investigação em escritórios, já que esse uso é o que demanda maior consumo energético para iluminação e condicionamento de ar. Por outro lado, a metodologia recorrente foi a simulação dinâmica através de softwares que utilizam a RADIANCE na análise luminosa e com o predomínio da adoção do ENERGY PLUS como programa preferencial para as análises termoenergéticas.

Também observou-se que muitos dos trabalhos abordaram a eficiência e/ou o efeito das proteções solares, como estratégia de controle lumínico e térmico das aberturas nas fachadas, sugerindo uma lacuna nas avaliações luminosas e termoenergéticas que considerem outras estratégias de potencialização da iluminação natural.

Os trabalhos aqui apresentados foram importantes contribuições na constituição da base teórica necessária ao desenvolvimento desse trabalho de dissertação.

As tabelas 5 e 6 apresentaram a síntese da revisão bibliográfica dos artigos e dissertações estudados, evidenciando, principalmente, as metodologias utilizadas que serviram de referência para a adoção do método e das variáveis de análise do desempenho lumínico e termoenergético do modelo de prédio administrativo da FURG, estudo de caso dessa dissertação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do estudo proposto, de avaliação do desempenho lumínico e termoenergético em ambientes administrativos, adotou-se um estudo de caso com o objeto concreto centrado no modelo de prédio administrativo da FURG.

A abordagem metodológica se dá por cenários, que considera o objeto da pesquisa como sistema formado por um conjunto de partes visto como uma totalidade e entre as quais observam-se interações (SERRA, 2006).

De acordo com esse autor, após o levantamento de dados primários e secundários constrói-se o cenário atual, nessa pesquisa denominado "modelo padrão". Considerando-se as tendências que as variáveis assumem (nesse caso, variáveis relacionadas ao seu desempenho lumínico e termoenergético) constrói-se cenários desejáveis, aqui denominados "modelos propostos", associados ao cumprimento dos objetivos da pesquisa. Se os objetivos não são atingidos, novas intervenções podem ser anexadas ao processo, numa retro-alimentação.

Nota-se que essa metodologia é muito flexível pois prevê a possibilidade de alterações no decorrer do processo.

Assim, esse trabalho de dissertação foi desenvolvido através das seguintes etapas metodológicas:

- 1) Realização de uma pesquisa descritiva a partir da revisão de literatura sobre o tema;
- 2) Levantamento do objeto de estudo e coleta dos dados, através da análise de projetos e visitas no local;
- 3) Definição do experimento e avaliação do desempenho lumínico no modelo de prédio administrativo (modelo padrão), através de simulação computacional dinâmica com o programa Rhinoceros for Diva;
- 4) Avaliação dos resultados da simulação luminosa no modelo padrão e definição de características alteradas para um melhor desempenho (modelos propostos);
- 5) Avaliação do desempenho lumínico dos modelos propostos, através de simulação computacional dinâmica com o programa Rhinoceros for Diva;

6) Avaliação do desempenho termoenergético no modelo padrão e nos modelos propostos, através de simulação computacional dinâmica com o programa Energy Plus;

7) Avaliação comparativa de desempenho lumínico e termoenergético do modelo padrão e dos modelos propostos, de forma paralela, para otimização da qualidade do edifício;

8) Avaliação qualitativa da iluminação natural, através de simulação computacional estática, em dias característicos de inverno e de verão, dos modelos propostos que apresentaram o melhor desempenho lumínico e termoenergético, de forma paralela, e a melhor autonomia de iluminação natural;

9) Verificação da viabilidade econômica das características alteradas que otimizaram o desempenho dos modelos estudados.

Apresenta-se a seguir, um fluxograma representativo do processo metodológico (Fig. 4) adotado neste trabalho de pesquisa.

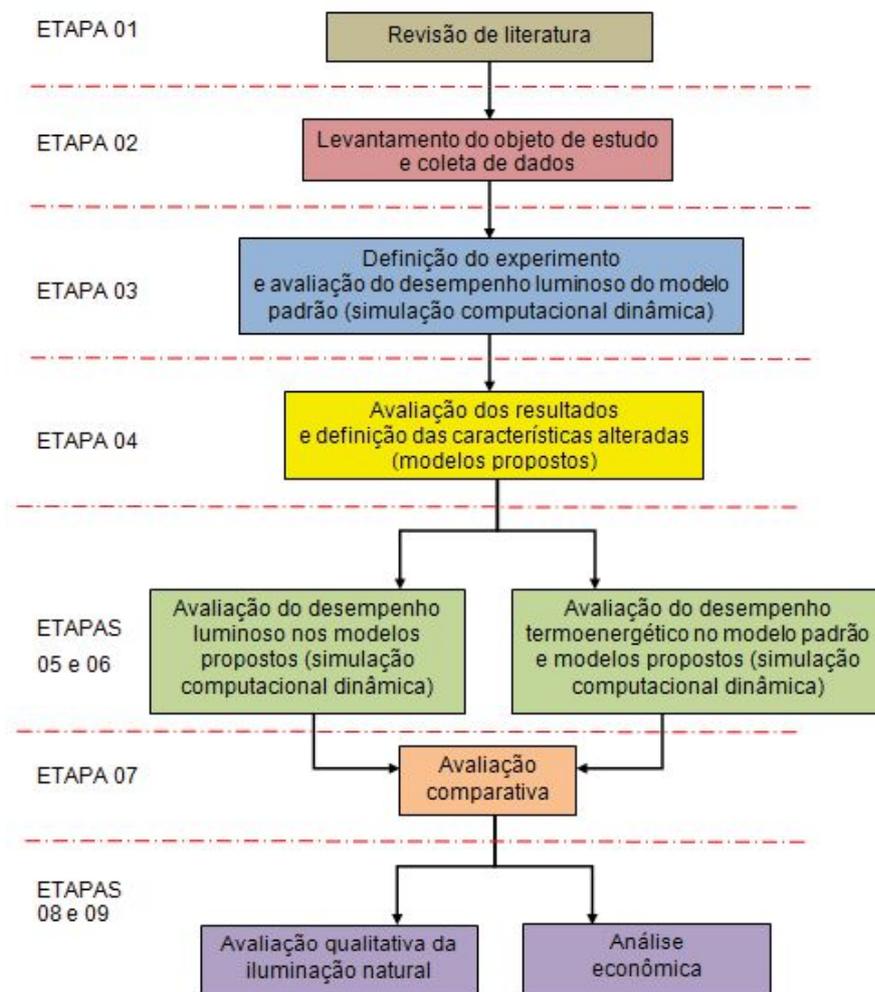


Figura 4 - Fluxograma do processo metodológico
Fonte: Autora, 2017

3.1 Levantamento do objeto de estudo e coleta de dados

O estudo em questão foi realizado na Universidade Federal do Rio Grande - FURG, no Campus Carreiros, que está localizado na Avenida Itália, Km 8, município de Rio Grande – RS. Este Campus apresenta, atualmente, dois acessos, conforme Fig. 5, um pela Rua Padre Nilo Gollo (acesso 1) e outro pela Avenida Roberto Socoowski (acesso 2).



Figura 5 - Mapa do Campus Carreiros da FURG

Fonte: www.furg.br, 2017

O Campus apresenta atualmente 96 edificações, que abrigam espaços de ensino, de convívio e administrativos. Para as edificações administrativas a FURG adotou um modelo padrão de edificação, escolhido como objeto de estudo deste trabalho.

Quatro prédios administrativos estão concluídos nesse modelo padrão. Três destes prédios estão locados no Campus Carreiros, (Prédio da Pró-Reitoria de Infra-

Estrutura – PROINFRA, Prédio do Núcleo de Tecnologia da Informação – NTI e Prédio da Secretaria de Comunicação – SECOM), conforme Fig. 6, e um no Campus de Santo Antônio da Patrulha.



Figura 6 - Implantação dos prédios construídos "modelo padrão administrativo" no Campus Carreiros

Fonte: Google Maps, 2017

Este modelo de prédio administrativo apresenta uma forma compacta, de dois pavimentos e com o telhado escondido na platibanda, conforme Fig. 7 e 8. O sistema construtivo adotado é o de estrutura de concreto com pilares, vigas e lajes. Os fechamentos opacos verticais são constituídos por paredes de alvenaria de tijolos furados rebocados, com espessura de 20 cm, em algumas partes, e paredes duplas com tijolos maciços à vista, com 33 cm de espessura, em outras partes. Já os fechamentos transparentes verticais são de esquadrias em alumínio branco com vidro absorvente verde de 6mm.



Figura 7 - Modelo padrão de prédio administrativo - Entrada Principal
Fonte: FURG, 2012



Figura 8 - Modelo padrão de prédio administrativo
Fonte: FURG, 2012

Os fechamentos horizontais são de forros de fibra mineral, laje de concreto e cobertura de telha termoacústica, com recheio de 40mm de poliestireno expandido e acabamento com pintura na cor branca.

Os revestimentos internos das paredes são de pinturas na cor creme claro e na cor vermelho escuro, pisos vinílicos na cor creme claro e forros na cor branca. As portas internas são de madeira semi-oça, pintadas na cor branca e todas com bandeira.

As Fig. 9 e 10, apresentam as plantas baixas do modelo de prédio administrativo adotado pela Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

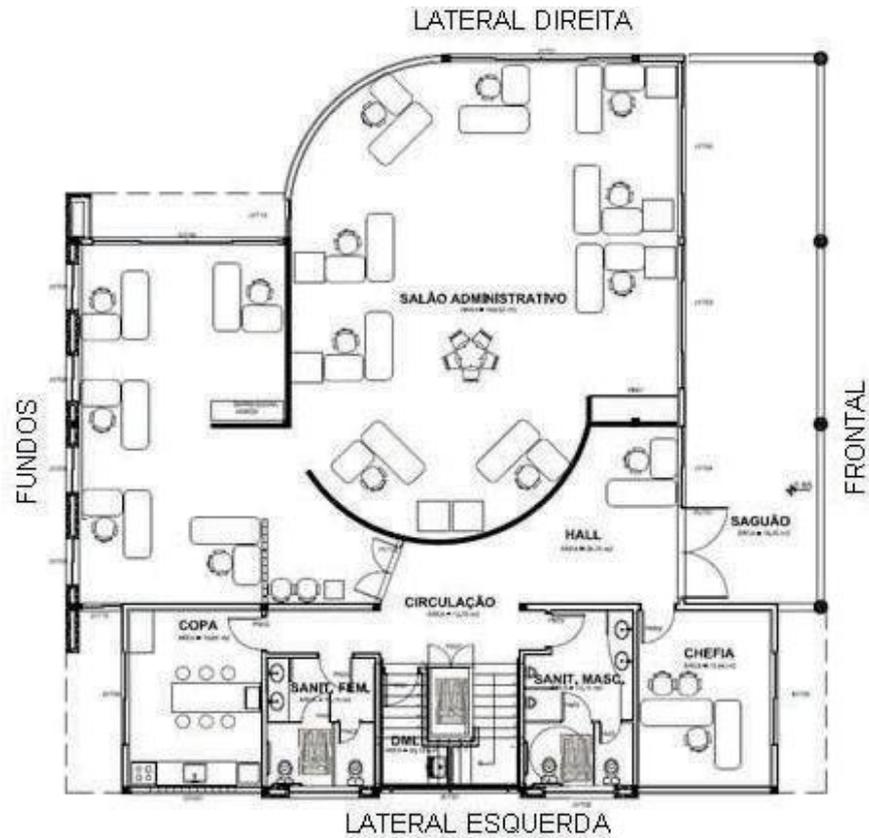


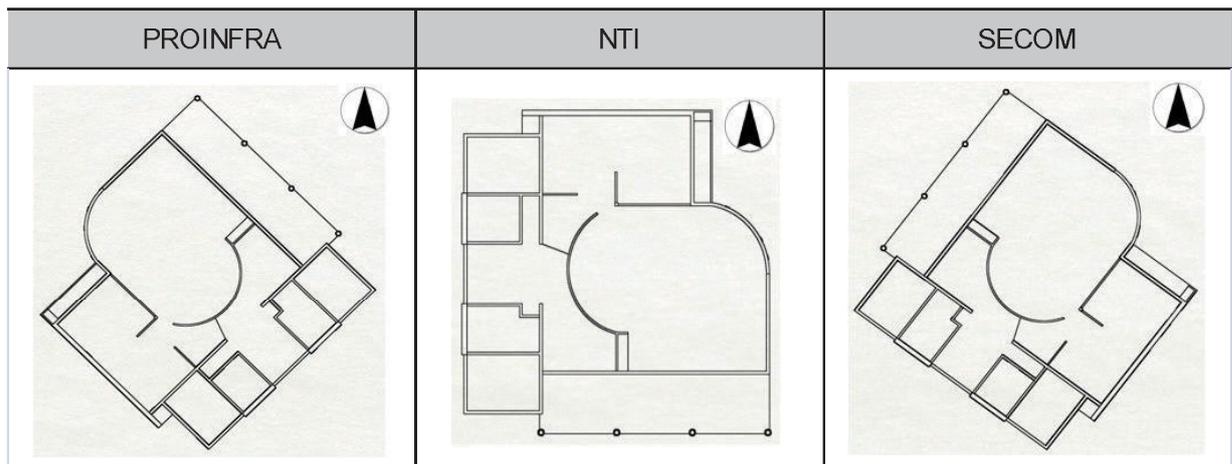
Figura 9 - Planta Baixa do Pavimento Térreo – Modelo padrão de prédio administrativo
Fonte: FURG, 2011



Figura 10 - Planta Baixa do Pavimento Superior – Modelo padrão de prédio administrativo
Fonte: FURG, 2011

Este modelo padrão de prédio administrativo apresenta grandes vãos de abertura, não possui proteção solar, apresenta janelas em diversas orientações e foi implantado em diferentes orientações solares (tab. 7), obedecendo principalmente critérios de acesso ao pátio de entrada a partir das vias existentes no campus.

Tabela 7 - Diferentes orientações solares do modelo padrão de prédio administrativo da FURG



Fonte: Autora, 2017

A tab. 8 apresenta a relação da área de abertura com a área de piso, de cada ambiente, do modelo de prédio administrativo, adotado pela Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

Tabela 8 - Relação da área de abertura com a área de piso do modelo de prédio administrativo

Pavimento	Ambiente	Área de abertura (m ²)	Área de piso (m ²)	Área abertura / Área de piso (%)
TÉRREO	Salão	49,40	164,62	30
	Chefia	4,80	15,64	31
SUPERIOR	Salão	44,20	175,20	25
	Secretaria	4,80	32,28	15
	Chefia	19,20	24,66	78
	Direção	9,60	15,64	61
	Reuniões	9,60	15,64	61

Fonte: Autora, 2017

A tab. 9 mostra a relação do percentual de abertura em cada fachada do modelo de prédio administrativo estudado.

Tabela 9 - Relação do percentual de abertura do modelo de prédio administrativo

Fachada	PAF (% de área de abertura)	PAFT (percentual de área de abertura total)
Frontal	37%	25%
Lateral direita	23%	
Lateral esquerda	22%	
Fundos	16%	

Fonte: Autora, 2017

3.2 Definição do experimento e avaliação do desempenho lumínico do modelo padrão

3.2.1 Desenho experimental para a avaliação luminosa

A partir da escolha do prédio administrativo a ser avaliado, definiram-se os casos a serem simulados, através dos seguintes passos:

1º) Determinação dos ambientes mais relevantes do prédio, ou seja, os que apresentassem permanência prolongada diurna e com o maior número de usuários, conforme informação apresentada na tab. 10.

Tabela 10 - Ambientes, área e número de usuários do modelo de prédio padrão

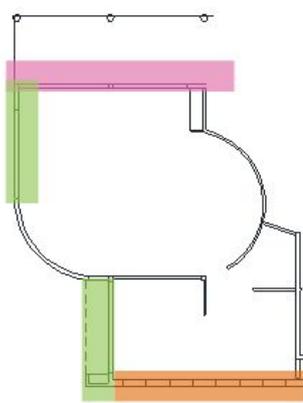
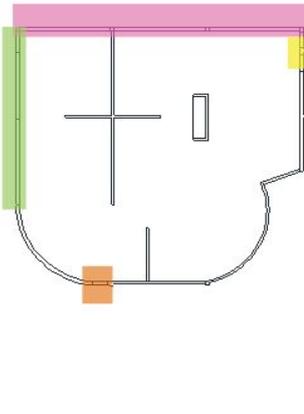
Pavimento	Ambientes de permanência prolongada diurna	Área (m ²)	Número de usuários pela RT CBMRS nº 11– Saídas de Emergência – 2016
Térreo	Salão	164,62	24
	Chefia	15,64	3
Superior	Salão	175,20	26
	Secretaria	32,28	5
	Chefia	24,66	4
	Direção	15,64	3
	Reuniões	15,64	3

Fonte: Autora, 2017

Os ambientes de permanência prolongada diurna que apresentaram o maior número de usuários foram os salões, que, localizados um acima do outro, apresentam aberturas laterais em todas suas fachadas.

2º) Definição da fachada mais importante definida pela maior área de abertura lateral, conforme informação apresentada na tab. 11.

Tabela 11 - Área das aberturas laterais dos salões do modelo padrão

Ambientes	Salão Térreo	Salão Superior	Total
Planta Baixa			
Área de abertura lateral	16,80m ²	27,60m ²	44,40m²
Área de abertura lateral	19,00m ²	11,80m ²	30,80m ²
Área de abertura lateral	9,60m ²	2,40m ²	12,00m ²
Área de abertura lateral	---	2,40m ²	2,40m ²

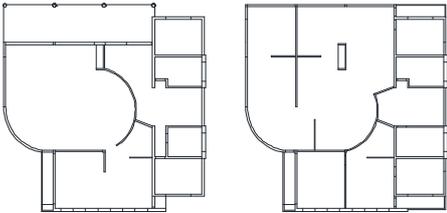
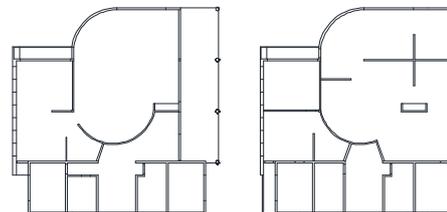
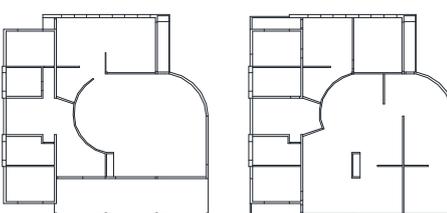
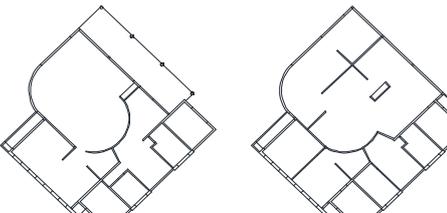
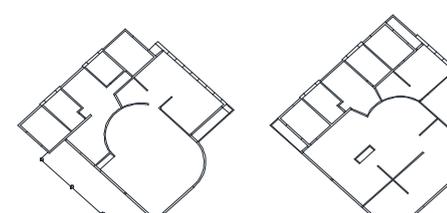
Fonte: Autora (2017)

Definiu-se então que a fachada com maior área de abertura lateral seria de referência para as orientações solares, e obteve a maior abertura lateral a fachada de acesso ao prédio.

Para o conforto lumínico, diferentemente do conforto termoenergético, as orientações solares leste e oeste apresentam o mesmo desempenho teórico por receberem igual quantidade de radiação solar, assim como as orientações nordeste e noroeste e também as orientações sudoeste e sudeste. A tab. 12 apresenta as

orientações solares simuladas para determinar o desempenho lumínico do modelo padrão de prédio administrativo.

Tabela 12 - Orientações solares simuladas para o desempenho lumínico

Orientações Simuladas - Desempenho Luminoso	
Norte	
Leste - Oeste	
Sul	
Nordeste - Noroeste	
Sudoeste - Sudeste	

Fonte: Autora, 2017

3.2.2 Avaliação do desempenho lumínico no modelo padrão

Para obter-se os dados necessários para a avaliação do desempenho lumínico foi feita uma verificação nos projetos e no memorial descritivo do modelo de

prédio administrativo (modelo padrão). Também foram realizadas visitas nos prédios administrativos construídos. Segundo o modelo padrão, os dados de entrada no programa para a simulação de desempenho lumínico foram orientação solar, dimensões gerais, materiais utilizados, reflexão das cores e transmissividade luminosa ou visível dos vidros, conforme tab. 13, 14 e 15.

Tabela 13 - Descrição do modelo padrão de prédio administrativo

Sistema Construtivo	Estrutura de concreto com pilares, vigas e lajes
Fechamentos Verticais Opacos	Paredes de alvenaria de tijolos furados rebocados, com 20 cm de espessura
	Paredes duplas com tijolos maciços à vista, externamente, e furados rebocados, internamente, com 33 cm de espessura
Fechamentos Verticais Transparentes	Esquadrias de alumínio branco com vidro absorvente verde de 6mm
Fechamentos Horizontais	Forros de fibra mineral, laje de concreto e cobertura de telha termoacústica, com recheio de 40mm de poliestireno expandido e acabamento com pintura na cor branca
Revestimentos Internos	Pisos vinílicos na cor creme claro
	Paredes com pinturas na cor creme claro e na cor vermelho escuro (terracota)
	Forros de fibra mineral na cor branca
	Portas de madeira semi-oca, pintadas na cor branca e todas com bandeira de vidro transparente 4mm
	Porta de vidro absorvente verde de 6mm

Fonte: Autora, 2017

Tabela 14 - Reflexão das cores do modelo padrão

Reflexão das Cores	
Branco (caixilhos, porta interna, forro)	80%
Creme claro (piso vinílico, parede creme)	75%
Vermelho escuro (parede terracota)	15%

Fonte: NBR 5413, 1992

Tabela 15 - Transmissividade luminosa ou visível do vidro no modelo padrão

Transmissividade Luminosa ou Visível	
Vidro absorvente verde de 6mm	75%

Fonte: LAMBERTS; MILBRATZ, 2007; AMORIM et al., 2014

Em posse dos dados de entrada do modelo padrão, foi realizada a modelagem do mesmo, por pavimentos, através do programa SketchUp, conforme Fig. 11 e 12.

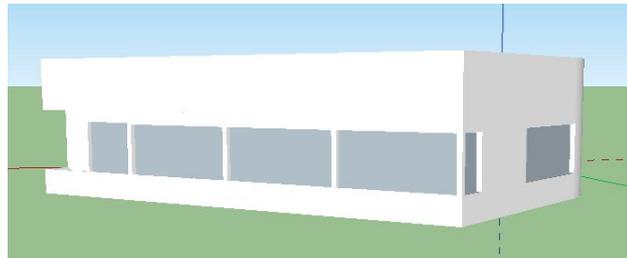


Figura 11 - Imagem do Pavimento Superior do modelo padrão

Fonte: Autora, 2017

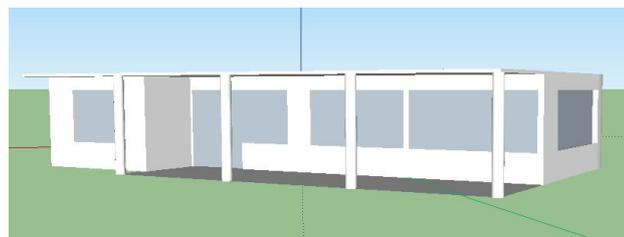


Figura 12 - Imagem do Pavimento Térreo do modelo padrão

Fonte: Autora, 2017

O modelo padrão, na modelagem para a avaliação do desempenho lumínico, foi separado por pavimentos, para facilitar a seleção da área de trabalho no momento da simulação.

Após a modelagem no programa SketchUp, o arquivo foi importado para o programa Rhinoceros for Diva, e desenvolveu-se a simulação do desempenho lumínico.

Cada prédio foi modelado em arquivos separados e com a sua correta orientação solar, pois quando rotacionado no programa SketchUp ou no programa Rhinoceros for Diva, o arquivo acabava gerando erros no momento da simulação e o trabalho era perdido.

3.2.2.1 Rhinoceros for Diva

O modelo desenvolvido no SketchUp foi importado para o programa Rhinoceros, com o plugin Diva, e definiram-se os layers por tipo de materiais e cores.

Os procedimentos de simulação com o programa Diva iniciaram-se pelo ícone **Location**, com a importação do arquivo climático local. A cidade do Rio Grande - RS, localização do objeto deste estudo, encontra-se na zona climática 3, igualmente a cidade de Porto Alegre - RS, portanto usou-se o arquivo climático da Capital, encontrado no site www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos.

O arquivo climático utilizado foi do tipo TRY (Test Reference Year) que representa um ano de dados médios para um local específico, sem extremos de temperatura. O arquivo TRY abrange as variáveis de temperatura de bulbo seco; temperatura de orvalho; umidade relativa do ar; direção e velocidade dos ventos; nebulosidade; pressão barométrica e radiação solar. Encontram-se disponíveis arquivos climáticos TRY para 14 cidades brasileiras, os quais foram determinados a partir de um período de 10 anos de medição. Os arquivos TRY disponíveis correspondem a 14 capitais de cidades brasileiras: Belém, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Maceió, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Luís, São Paulo e Vitória (LABEEE, 2017).

O arquivo apresenta um formato de extensão criado para simulações no programa EnergyPlus, e conseqüentemente, para o plugin Diva (que incorpora ferramentas do EnergyPlus nas simulações térmicas e de eficiência energética).

Informada a localização, projetaram-se os pontos de análise e a altura da superfície de trabalho, através do comando **Nodes**.

A quantidade mínima de pontos necessários para verificação do nível de iluminação natural e a altura da superfície de trabalho foram retiradas da NBR 15215-4 (2005). Através dos tamanhos dos ambientes determinou-se a quantidade de pontos necessários para a realização do estudo, utilizando-se a fórmula do Índice de Ambientes (K), como mostra a equação 1.

$$K = \frac{C*L}{H_m*(C+L)} \quad [1]$$

Onde:

L é a largura do ambiente, em metros;

C é o comprimento do ambiente, em metros;

H_m, é a distância vertical, em metros, entre a superfície de trabalho (0,75m, de acordo com a NBR 15.215-4) e o topo da janela.

Desta forma, obteve-se o coeficiente K, dado de entrada na tab. 16, para obter o número mínimo de pontos necessários para cada local de análise.

Tabela 16 - Quantidade mínima de pontos a serem medidos

K	Nº de Pontos
K < 1	9
1 ≤ K < 2	16
2 ≤ K < 3	25
K ≥ 3	36

Fonte: NBR 15215, 2005

Obedecendo ao requisito mínimo de pontos apresentado na tabela 16, foram feitas as leituras diretamente sobre postos de trabalho, organizados conforme a Fig. 13.

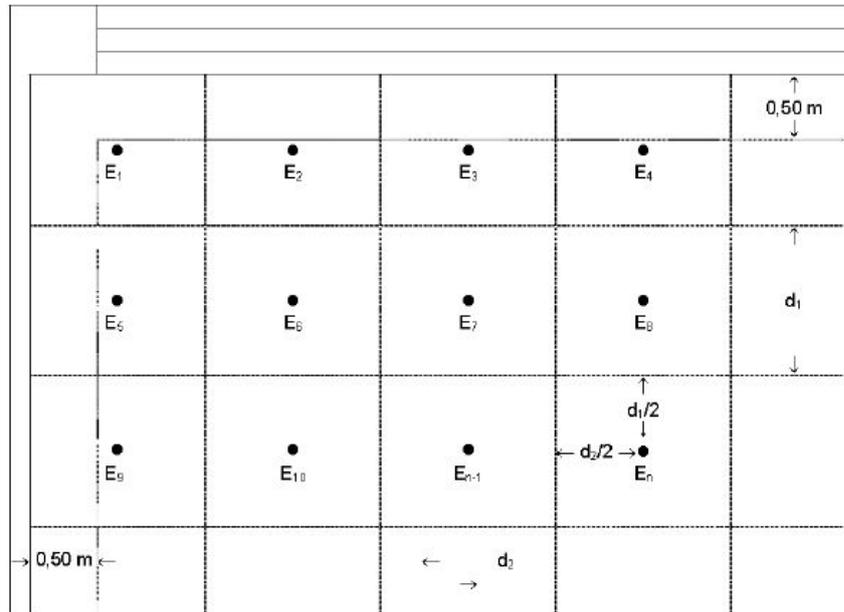


Figura 13 - Malha de pontos para medições

Fonte: NBR 15215, 2005

O número mínimo de pontos medidos no salão superior, por exemplo, que era o maior ambiente do modelo, foi 36, pois pelo tamanho do ambiente resultou em um coeficiente $K \geq 3$. A informação solicitada pelo programa é referente a distância entre os pontos, que nesse caso foi de 2 metros. Já a altura da superfície de trabalho foi 0,75 metros, em todos os ambientes simulados.

A Fig. 14 apresenta a representação da malha gerada pelo programa Rhinoceros for Diva, após especificada a distância entre os pontos (2m) e a altura da superfície do trabalho (0,75m).



Figura 14 - Representação gráfica da malha no programa Rhinoceros for Diva

Fonte: Autora, 2017

Posteriormente, acessando OS(C:)/DIVA/Daylight/material nos documentos do computador foi possível configurar cada material com sua devida refletância e transmissividade, e inserí-los no ícone **Assign Materials**.

A partir daí partiu-se para o procedimento de simulação na opção **Metrics**.

A Fig. 15 mostra a interface do programa Rhinoceros e as ferramentas, mencionadas acima, do plugin Diva.

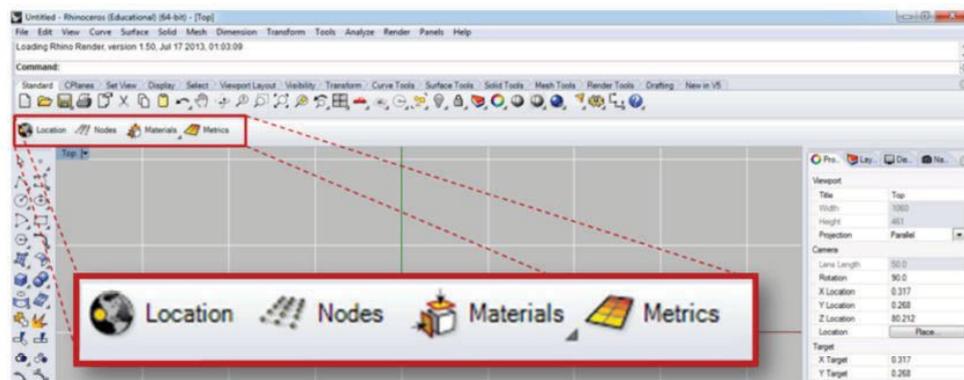


Figura 15 - Interface do programa Rhinoceros e as ferramentas do plugin Diva

Fonte: Autora, 2017

Os parâmetros simulados para que se conhecesse o desempenho lumínico dos ambientes foram a autonomia de iluminação natural (Daylight Autonomy - DA) e a iluminância útil de iluminação natural (Useful Daylight Illuminances - UDI), através do comando Metrics / Daylight Grid-Based / Climate-Based.

Os valores da iluminância útil de iluminação natural (Useful Daylight Illuminances - UDI) de 300 a 3000 lux são definidos pelo programa de simulação Rhinoceros for Diva, quando se estabelece o nível mínimo de iluminação para o determinado ambiente (escritório), que neste caso foi de 500 lux, conforme requisito da NBR 8995-1.

O retorno de dados dinâmicos do plugin Diva estabelece porcentagens de horas do ano com luz natural em diferentes análises de acordo com o desempenho dos níveis de iluminâncias. As representações gráficas são obtidas em cores falsas, que expõem o nível de desempenho do objeto analisado em cada situação, conforme Fig. 16. Chamam-se cores falsas, porque as cores representam percentuais de autonomia de iluminação natural, e não o espectro que refletem.

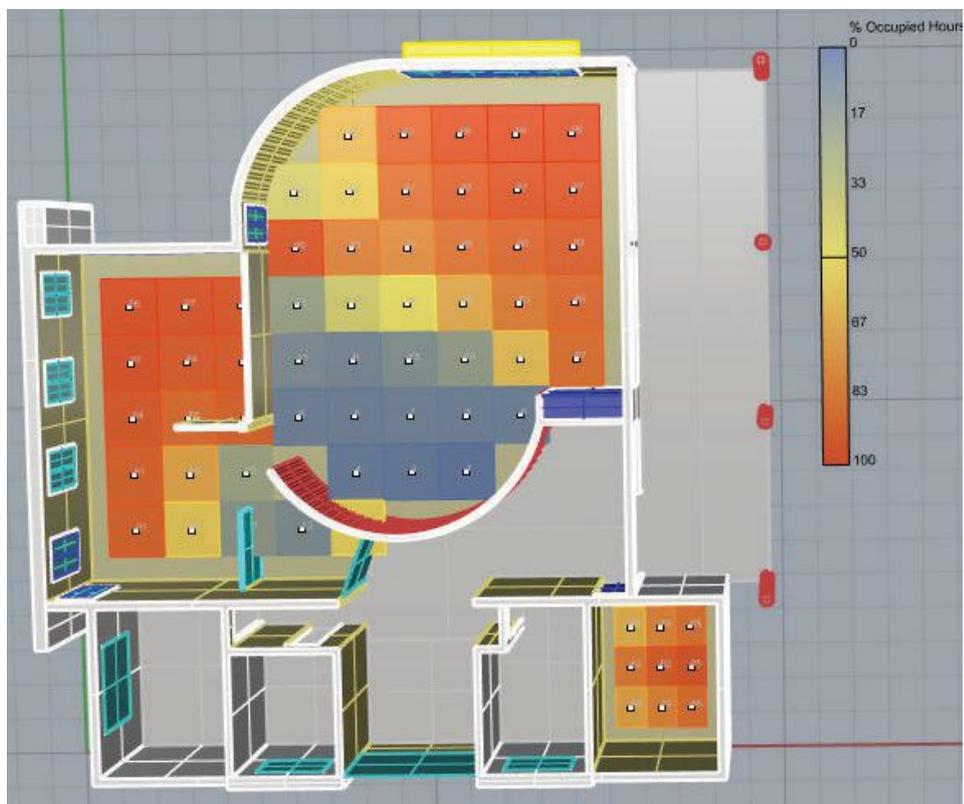


Figura 16 - Representação gráfica em cores falsas do programa Rhinoceros for Diva
Fonte: Autora, 2017

O plugin Diva for Rhino, inicialmente desenvolvido na Universidade de Harvard, e atualmente gerenciado pela Solemma, permite aos usuários realizarem uma série de avaliações de desempenho ambiental dos edifícios individuais e de paisagens urbanas, incluindo simulações dinâmicas de iluminação natural baseadas em arquivos climáticos (DIVA, 2017).

A Fig. 17 apresenta os processos aplicados em uma simulação dinâmica de iluminação natural com Diva.

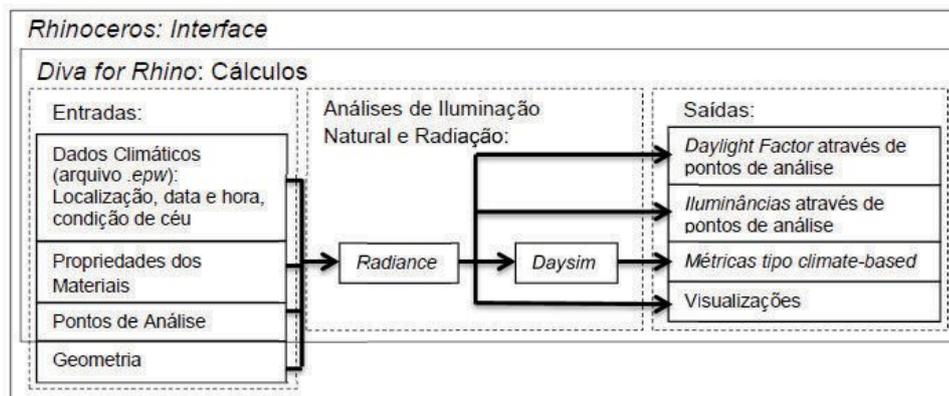


Figura 17 - Entradas e saídas de dados com o plugin Diva for Rhino
Fonte: Weiss et al, 2015

Pode-se observar que, configurados e aplicados os dados de entrada, o procedimento de simulação se configura através de Radiance, onde o plugin Diva identifica as superfícies que os raios lumínicos podem interagir, e calcula a partir do ponto de análise, simulando um fotômetro virtual (JACOBS, 2012).

Na sequência, o Daysim, utiliza-se de Radiance para calcular as iluminâncias com base nos dados climáticos. Nesta sequência são geradas as simulações dinâmicas por base climática (climate-based), também podem ser geradas visualizações tridimensionais, simulações de iluminâncias ou do fator de luz diurna (REINHARDT; WIENOLD, 2011).

3.3 Definição dos modelos propostos

Como explicitado no início deste capítulo, cada etapa metodológica, cumprindo com os objetivos específicos a ela associados levou a tomadas de decisão com relação às etapas posteriores.

Através da simulação do desempenho lumínico, o modelo padrão adotado pela Universidade, em diferentes orientações solares, observou-se que a melhor

orientação, referente a autonomia de iluminação (DA) e referente a iluminância útil da luz natural (UDI), com valores entre 300 e 3000 lux, foi a **nordeste - noroeste**. Os piores resultados foram contemplados nas orientações sul e sudoeste - sudeste, conforme resultados apresentados na tab. 17 e Fig. 18. A média dos resultados apresentada foi ponderada pela área dos ambientes.

Tabela 17 - Simulação luminosa com diferentes orientações no modelo padrão

		SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO									
		CASO BASE - NORTE		CASO BASE - L/O		CASO BASE - SUL		CASO BASE - NE/NO		CASO BASE SO/SE	
		DA_500	UDI (300-3000LUX)	DA_500	UDI (300-3000LUX)	DA_500	UDI (300-3000LUX)	DA_500	UDI (300-3000LUX)	DA_500	UDI (300-3000LUX)
TÉRREO	SALÃO	57,11	66,07	61,7	66,96	53	62,19	61,31	66,85	51,06	63,65
	CHEFIA	89,56	85,33	81,11	85,56	74	93,22	85,67	82,22	77,89	90,67
SUPERIOR	SALÃO	59,67	59,06	60,02	59,94	49,63	58,83	62,8	61,43	49,06	57,54
	SECRETARIA	19	32,94	32,22	41,06	38,39	48,78	23,67	37,83	36,5	46,17
	CHEFIA	95,33	76,5	96,5	61,5	97,75	67,17	95,42	65	96,58	77,83
	DIREÇÃO	97,22	73,44	95,89	81,78	94,33	89,56	96,22	73,22	94,67	82,67
	REUNIÕES	93,11	91,67	93,33	84,22	95,22	79,67	92,44	93,89	97,67	75,44
MÉDIA		61,30	63,31	63,83	63,79	56,78	63,29	64,26	64,22	55,87	62,79

Fonte: Autora, 2017

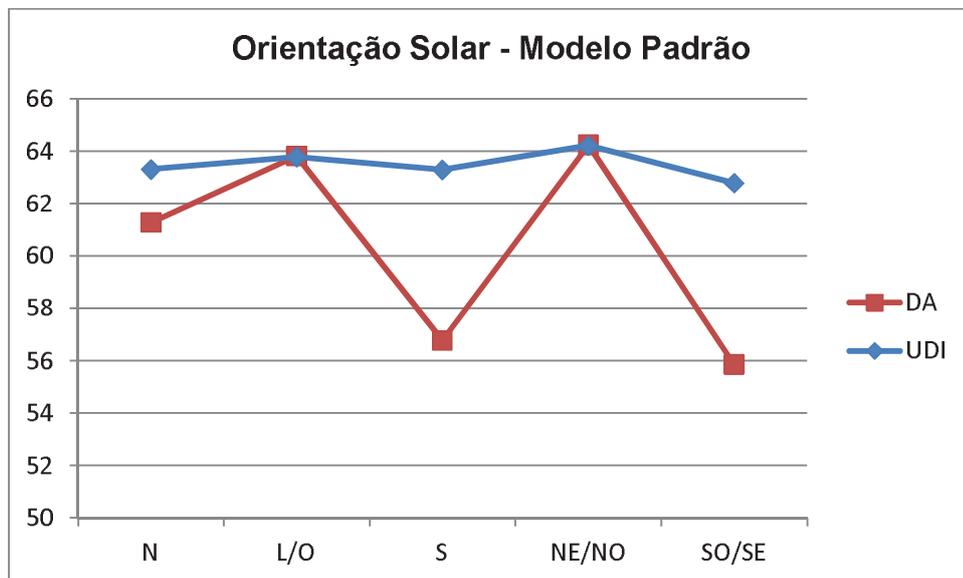


Figura 18 - Gráfico da simulação luminosa com diferentes orientações no modelo padrão

Fonte: Autora, 2017

Optou-se por avaliar nos modelos propostos, as três melhores orientações (nordeste-noroeste, leste - oeste e norte), descartando as orientações com os piores resultados (sul e sudoeste - sudeste) nas posteriores simulações.

Definiu-se também avaliar apenas a DA, pois observou-se que os índices de DA e UDI nem sempre apresentaram resultados com proporcionalidades similares

(Fig. 18), já que na UDI, por default do programa, a faixa de iluminâncias considerada era entre 300 a 3000 lux, e no DA, o valor de iluminância considerado foi de 500 lux.

A partir dos resultados de simulação do desempenho lumínico no modelo padrão, propôs-se a alteração de algumas características construtivas com intenção de melhorar o desempenho lumínico e termoenergético, do modelo de prédio administrativo.

Observou-se a necessidade de uma maior penetração da luz natural no fundo de alguns ambientes, e então optou-se por conhecer o desempenho lumínico desses ambientes com o uso de prateleiras de luz, que potencializam a profundidade de penetração da luz natural. Outra característica construtiva proposta foi a utilização de cores claras (80% de coeficiente reflexão) no fundo dos ambientes, já que as áreas que apresentaram o menor percentual de DA eram de cores escuras (15% de coeficiente reflexão). Também propôs-se a substituição dos vidros: pensando-se em melhorar a DA optou-se pelo vidro comum transparente, e com a preocupação de aquecimento excessivo no ambiente, o vidro low-e.

Portanto, as características alteradas, sugeridas com a intenção de melhorar o desempenho lumínico e termoenergético do modelo padrão foram: i) prateleiras de luz; ii) cores claras em todo o ambiente; iii) vidro simples; iv) vidro low-e.

Para que se definisse a melhor posição da prateleira de luz em relação à abertura, simulou-se o desempenho lumínico do modelo padrão, na melhor orientação solar (nordeste - noroeste), no pavimento térreo, com posição central (30cm para o lado externo do prédio + 20cm da parede + 30cm para o lado interno do prédio), com posição externa (80cm) e com posição interna (80cm). As prateleiras foram localizadas no centro da janela, a 2m do piso, não configurando obstáculo às vistas através da abertura (Fig. 19). Considerou-se prateleiras de luz de alumínio, na cor branca, com espessura de 5mm.

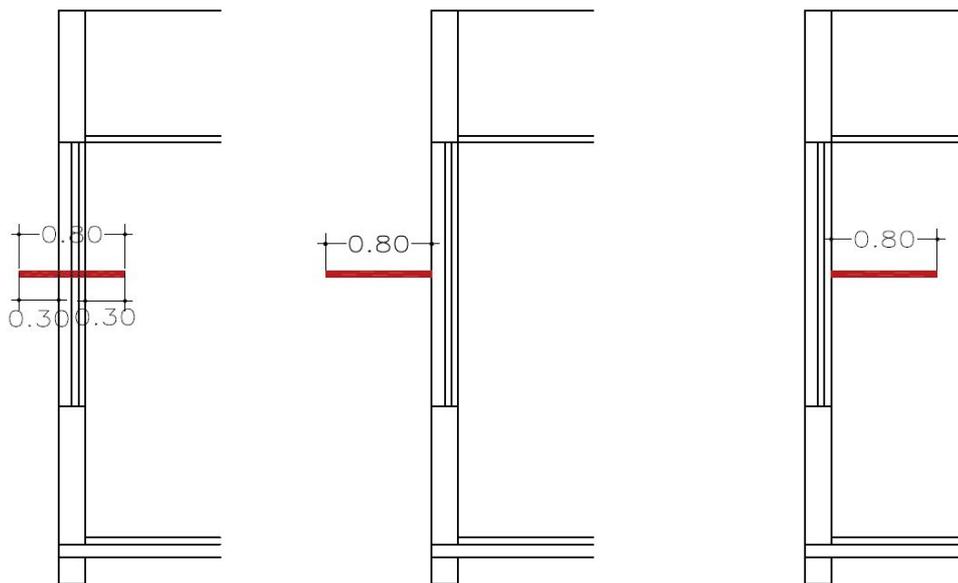


Figura 19 - Representação da prateleira de luz com posição central, externa e interna

Fonte: Autora, 2017

Segundo Lechner (2015), o uso das prateleiras de luz é aconselhável nas janelas orientadas a norte, leste e oeste, para potencializar a iluminação natural, portanto, utilizou-se prateleiras de luz nas janelas voltadas a essas orientações.

O melhor desempenho lumínico referente à DA deu-se com a prateleira na posição externa, com 60,46% de DA no salão administrativo principal, do pavimento térreo (tab. 18).

Tabela 18 - Resultados de DA com posições diferentes das prateleiras de luz

Pavimento	Ambientes	Prateleira de luz no centro	Prateleira de luz externa	Prateleira de luz interna
TÉRREO	SALÃO	58,31	60,46	58,74
	CHEFIA	85,67	85,67	85,67

Fonte: Autora, 2017

Esse resultado comprovou Gonçalves et al (2011), no qual relatou que as prateleiras de luz são mais eficientes quando posicionadas no exterior das janelas do que no interior dos espaços, exatamente por receberem mais luz pela área da face superior exposta.

Após o resultado do tipo de prateleira de luz a ser utilizada, fez-se testes para descobrir qual a profundidade mais eficiente da prateleira de luz, para o modelo padrão de prédio administrativo.

Foram testados 6 tamanhos de prateleiras de luz: 40cm, 50cm, 60cm, 70cm, 80cm e 1m. A prateleira de luz com 60cm de profundidade foi a que obteve a melhor DA (tab. 19).

Tabela 19 - Resultados de DA para diferentes profundidades de prateleiras de luz

		PRAT. EXT. 40	PRAT. EXT. 50	PRAT. EXT. 60	PRAT. EXT. 70	PRAT. EXT. 80	PRAT. EXT. 100
		DA_500	DA_500	DA_500	DA_500	DA_500	DA_500
TÉRREO	SALÃO	60,22	59,67	60,5	59,81	60,46	60,13
	CHEFIA	85,67	85,67	85,67	85,67	85,67	85,67

Fonte: Autora, 2017

Posteriormente, fez-se ainda, mais uma verificação referente a altura da prateleira de luz, desta vez, localizada no terço superior da janela, a 2,30m de altura do piso (Fig. 20).

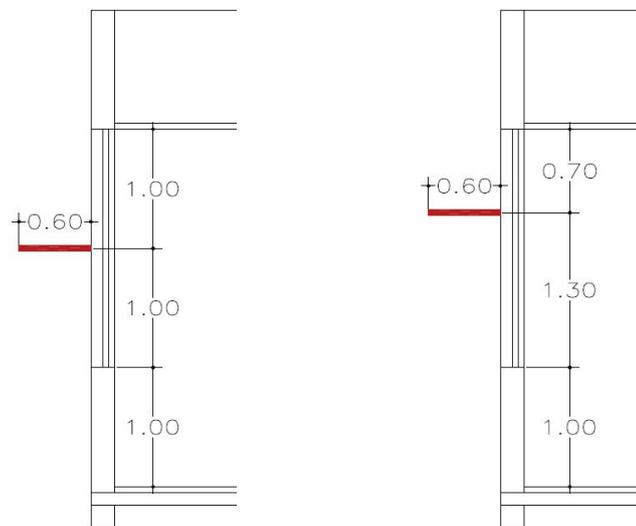


Figura 20 - Representação da prateleira de luz colocada a 1/2 da janela e a 1/3 da janela

Fonte: Autora, 2017

A altura que obteve o melhor desempenho, referente a DA foi a de 2 metros em relação ao piso, ou seja, 1/2 da janela (tab. 20).

Tabela 20 - Resultados de DA para as diferentes alturas de prateleiras de luz

		Prateleira externa a 1 metro	Prateleira externa a 70 cm
DA_500			
TÉRREO	SALÃO	60,5	59,93
	CHEFIA	85,67	85,67

Fonte: Autora, 2017

A Fig. 21 apresenta uma imagem do modelo de prédio administrativo estudado com a inserção das prateleiras de luz.

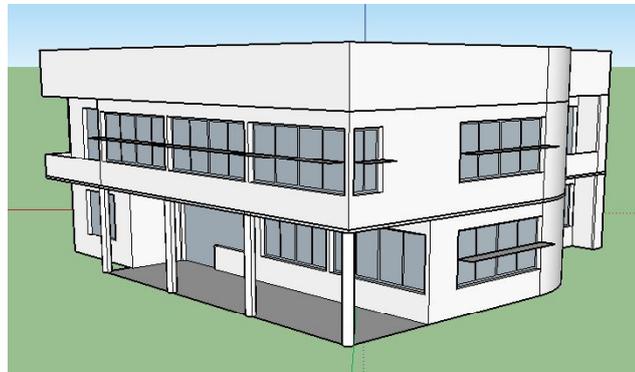


Figura 21 - Modelo de prédio administrativo com prateleiras de luz
Fonte: Autora, 2017

3.4 Avaliação do desempenho lumínico nos modelos propostos

A partir da definição das características alteradas determinaram-se os casos a serem simulados, aqui denominados, modelos propostos.

A avaliação do desempenho lumínico nos modelos propostos foi realizada através de simulação computacional com o programa Rhinoceros for Diva, por pavimento, para facilitar a simulação e compreensão dos resultados quando da inserção da altura do plano de trabalho (75cm), totalizando 72 simulações, que resultaram em 36 modelos avaliados.

Apresenta-se na na tab. 21 o desenho experimental utilizado para as avaliações de desempenho lumínico dos modelos propostos.

Tabela 21 - Desenho experimental: Simulações do desempenho lumínico nos modelos

SIMULAÇÕES LUMINOSAS PAVIMENTO TÉRREO																														
ORIENTAÇÃO	N						L-O						NE-NO																	
PRATELEIRAS DE LUZ	SP			CP			SP			CP			SP			CP														
VIDROS	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3												
CORES INTERNAS	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C
SIMULAÇÕES LUMINOSAS PAVIMENTO SUPERIOR																														
ORIENTAÇÃO	N						L-O						NE-NO																	
PRATELEIRAS DE LUZ	SP			CP			SP			CP			SP			CP														
VIDROS	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3												
CORES INTERNAS	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C

Fonte: Autora, 2017

Legenda da Tabela:

N - norte

L-O - leste e oeste

NE-NO - nordeste e noroeste

SP - sem prateleira de luz

CP - com prateleira de luz

1 - vidro absorvente verde

2 - vidro comum transparente

3 - vidro low-e

E - cores escuras (reflexão 15%)

C - cores claras (reflexão 80%)

3.5 Avaliação do desempenho termoenergético no modelo padrão e nos modelos propostos

A avaliação do desempenho termoenergético dos modelos padrão e propostos foi realizada através de simulação computacional com o programa Energy Plus 8.7, modelados no programa Sketchup 2017, com o plugin Euclid. O programa verificou o consumo em KWh/ano dos modelos através da análise dos usos finais de energia de ar condicionado para aquecimento (heating) e resfriamento (cooling), iluminação artificial e equipamentos.

Para obter-se os dados de entrada para a avaliação do desempenho termoenergético buscou-se informações nos projetos e no memorial descritivo do

modelo de prédio administrativo (modelo padrão). Também foram realizadas visitas aos prédios construídos segundo o modelo padrão.

Os dados necessários para simulação termoenergética, além dos já citados para a simulação luminosa, foram horário de funcionamento, número de usuários do prédio, sistema de iluminação (verificando sua densidade de potência instalada – DPI), equipamentos (verificando sua densidade de carga interna - DCI) e equipamentos de ar condicionado instalados (verificando o seu coeficiente de performance - COP).

O horário de funcionamento do prédio e o sistema de iluminação foi definido a partir de observações técnicas realizadas em visita aos prédios construídos.

O número de usuários foi definido em acordo com a Resolução Técnica CBMRS nº 11 – parte 01 – Saídas de Emergência – 2016, no qual estabelece 1 pessoa para cada 7m² de área, para ambiente de escritório administrativo ou técnico.

Os dados de DCI dos equipamentos e set point do sistema de ar condicionado foram definidos segundo a NBR 16401 (2008) e o COP definido através do nível de eficiência dos equipamentos instalados, todos, nível A.

A tab. 22 apresenta a densidade de carga típica de equipamentos para diversos tipos de escritórios, conforme NBR 16401 (2008).

Tabela 22 - Densidade de carga típica de equipamentos

Tipo de carga	Densidade W/m ²	Descrição do escritório
Leve	5,4	15,5m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada um, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 0,67, exceto 0,33 para impressoras
Média	10,7	11,6m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada um, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 0,75, exceto 0,50 para impressoras
Média/alta	16,2	9,3m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada um, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 0,75, exceto 0,50 para impressoras
Alta	21,5	7,7m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada um, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 1,0, exceto 0,50 para impressoras

Fonte: NBR 16401, 2008

Os dados referentes ao sistema de iluminação artificial foram observados através do projeto elétrico, e as informações técnicas, verificadas nos prédios construídos (tab. 23).

Tabela 23 - Sistema de iluminação artificial

Ambiente	Área (m ²)	Tipo de Luminárias e potência	Quantidade	Potência Instalada de Iluminação (W)
Salão Térreo	164,62	Luminária de embutir para duas lâmpadas leds. Potência total por luminária= 40W	25	1000
Chefia Térreo	15,64		2	80
Transitório Térreo	85,2	Luminária de embutir para duas lâmpadas leds. Potência total por luminária= 40W + par 20 de embutir, potência= 7W	4 x 40W / 12x7w	244
Salão Superior	175,2	Luminária de embutir para duas lâmpadas leds. Potência total por luminária= 40W	28	1120
Secretaria Superior	32,28		4	160
Chefia Superior	24,66		4	160
Direção Superior	15,64		2	80
Reuniões Superior	15,64		2	80
Transitório Superior	49,4	Luminária de embutir para duas lâmpadas leds. Potência total por luminária= 40W + par 20 de embutir, potência= 7W	4x40W / 6X7W	202
TOTAL				3126

Fonte: Autora, 2017

Outras informações necessárias para a simulação termoenergética estão relacionadas às propriedades térmicas dos materiais construtivos e aos dados dos diferentes tipos de vidros utilizados.

As propriedades térmicas dos materiais opacos que compõe o sistema de envelope dos modelos (fachadas e cobertura) estão apresentadas na tab. 24.

Tabela 24 - Propriedades térmicas dos materiais opacos

Material	Condutividade (W/(m.K))	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (kJ/(kg.K))
Argamassa	1,15	2000	1000
Cerâmica (tijolo)	0,9	1600	920
Concreto	1,75	2400	1000
Fibra Mineral	0,063	300	1420
Vinílico	0,4	1700	100
Granitina	3	2900	840
Gesso	0,35	1000	840
Alumínio	230	2700	880
Poliestireno	0,04	35	1420
Madeira (portas)	0,15	500	2300

Fonte: NBR 15220, 2003

A tab. 25 apresenta as propriedades óticas e energéticas dos vidros utilizados nos modelos.

Tabela 25 - Propriedades óticas e energéticas dos vidros

Dados dos vidros	Tipos de vidros		
	1) Vidro absorvente verde	2) Vidro comum transparente	3) Low-e
Espessura	6mm	6mm	6mm
Transmitância solar	0,49	0,78	0,23
Refletância solar frontal	0,06	0,07	0,37
Refletância solar reversa	0,06	0,07	0,55
Transmitância visível	0,75	0,88	0,58
Refletância visível do lado dianteiro	0,07	0,08	0,12
Refletância visível do lado de trás	0,07	0,08	0,08
Transmitância infravermelha	0	0	0
Emissividade hemisférica infravermelha do lado dianteiro	0,84	0,84	0,84
Emissividade hemisférica infravermelha do lado de trás	0,84	0,84	0,022
Condutividade	1	1	1

Fonte: Programa Window 7.4; CEBRACE, 2017

O programa de computador WINDOW 7.4 é utilizado para o cálculo de índices de desempenho térmico total da janela (ou seja, valores de transmitâncias, coeficientes de ganho de calor solar, coeficientes de sombreamento e transmissões visíveis). As funcionalidades do WINDOW incluem: i) algoritmos atualizados para o cálculo dos valores de transmitância do produto de fenestração total e do coeficiente de ganho de calor solar consistente com ASHRAE SPC142, ISO15099 e o National Fenestration Rating Council; ii) índice de resistência à condensação de acordo com o NFRC 500 Standard; iii) um mapa de temperatura da superfície; iv) um banco de dados integrado de propriedades; v) links para outros softwares de análise (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2017).

Apresenta-se na tab. 26 os dados de entrada para a simulação termoenergética dos modelos.

Tabela 26 - Parâmetros de entrada para a simulação termoenergética dos modelos

Ambiente	Horário de funcionamento	Nº de usuários	Sistema de iluminação (DPI) W/m ²	Equipamentos (DCI) W/m ²	Sistema de ar condicionado	
					COP	Set point
Salão Térreo	08:00 – 18:00	24	6,07	10,7	3,24 - Aquecimento	22°C - Aquecimento
Chefia Térreo		3	5,12	5,4	3,24 - Resfriamento	24,5°C - Resfriamento
Transitório Térreo		-	3,88	-	-	-
Salão Superior		26	6,39	10,7	3,24 - Aquecimento	22°C - Aquecimento
Secretaria Superior		5	4,96	10,7	3,24 - Resfriamento	24,5°C - Resfriamento
Chefia Superior		4	6,49	10,7		
Direção Superior		3	5,12	5,4		
Reuniões Superior		3	5,12	5,4		
Transitório Superior		-	4,09	-	-	-

Fonte: Autora, 2017

Como já comentado anteriormente, a modelagem para a simulação termoenergética deu-se através do programa Sketchup 2017, com o plugin Euclid (Fig. 22).

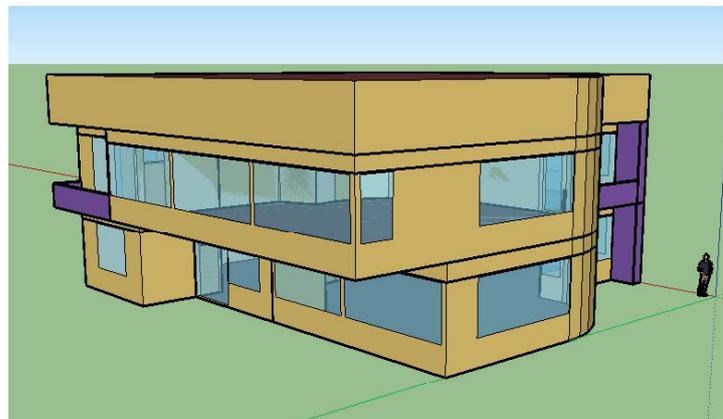


Figura 22 - Imagem do modelo padrão modelado no sketchUp para simulação termoenergética

Fonte: Autora, 2017

Durante a modelagem foram definidas as zonas térmicas, na qual foi estabelecido que tanto as áreas de permanência prolongada como as de uso comum de permanência transitória representariam uma zona térmica.

Após a confecção do modelo e criação do arquivo .idf, foram configurados parâmetros no *IDF Editor*, como o arquivo climático relacionado à cidade de Porto Alegre – RS, situada na mesma zona bioclimática, uma vez que a cidade de Rio Grande ainda não possui arquivo climático dessa natureza.

Posteriormente, a simulação computacional foi realizada por intermédio do *EP Launch*.

3.5.1 Energy Plus

O programa Energy Plus foi escolhido para a avaliação termoenergética, pois ele, assim como o Rhinoceros for Diva, possibilita a simulação dinâmica.

Conforme Melo, Westphal e Matos (2009), o EnergyPlus é um programa computacional, criado a partir dos programas BLAST e DOE-2 e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. O programa possui capacidade de simulação diferenciada, tais como “time-step” de cálculo menor que uma hora, sistema modular, possibilidade de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas, tais como: fotovoltaico, aquecimento solar, entre outros.

O programa é gratuito, validado e reconhecido internacionalmente, e tem sido amplamente utilizado no contexto nacional. Os dados de entrada necessários para realizar as simulações são divididos entre aqueles que caracterizam a edificação e o arquivo climático do local contendo informações básicas de temperatura, umidade, radiação solar, ventos, entre outras.

Os modelos de simulação computacional utilizam dados referentes à geometria da edificação, às propriedades térmicas de seus materiais construtivos, à eficiência energética de equipamentos elétricos, à capacidade do sistema de condicionamento de ar, aos padrões de uso e ocupação do prédio, aos ganhos de calor interno da edificação, à infiltração de ar, à área de ventilação e ao arquivo

climático da cidade onde se localiza o edifício para estimar o consumo energético de uma edificação.

O programa EnergyPlus integra vários módulos que trabalham juntos para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício usando uma variedade de sistemas e fontes de energia. Ele faz isso simulando o edifício e os sistemas associados em diferentes condições ambientais e operacionais. A essência da simulação está no modelo do edifício que utiliza princípios fundamentais de balanço energético. (MELO; WESTPHAL; MATOS, 2009)

No entanto, os estudos de Ramos e Ghisi (2010) e Didone e Pereira (2010) demonstraram limitações do uso deste software para a análise de iluminação natural, uma vez que ele superestima a luz natural em ambientes internos. Os autores apontaram a simulação integrada entre *EnergyPlus* e *Daysim* como alternativa para uma estimativa mais coerente para cálculo do potencial de economia de energia através do uso da iluminação natural, validando assim, a escolha por esses softwares para este trabalho de dissertação.

3.5.2 Desenho experimental para a avaliação termoenergética

Para o desempenho termoenergético simularam-se os modelos com as orientações solares que apresentaram melhor desempenho lumínico (tab. 27).

Tabela 27 - Orientações simuladas para o desempenho termoenergético dos modelos

Orientações Simuladas - Desempenho Termoenergético	
Norte	
Leste	
Oeste	
Nordeste	
Noroeste	

Fonte: Autora, 2017

Foram simulados, primeiramente, 60 casos, dentre eles o modelo padrão (orientação solar variável, sem prateleiras de luz, com vidro absorvente verde e com algumas paredes internas com cores escuras), adotado pela Universidade como modelo de prédio administrativo, e os modelos propostos, com algumas características alteradas (tab. 28).

Tabela 28 - Desenho experimental: simulação do desempenho termoenergético dos modelos

CASOS SIMULADOS																																				
ORIENTAÇÃO	N						L						O						NE						NO											
PRATELEIRAS DE LUZ	SP			CP																																
VIDROS	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
CORES INTERNAS	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C

Fonte: Autora, 2017

Legenda da Tabela:

N - norte

L - leste

O - este

NE- nordeste

NO - noroeste

SP - sem prateleira de luz

CP - com prateleira de luz

1 - vidro absorvente verde

2 - vidro transparente

3 - vidro low-e

E - cores escuras (reflexão 15%)

C - cores claras (reflexão 80%)

Os 60 casos programados foram avaliados em três diferentes condições:

1ª) SEM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL - Sem considerar a iluminação artificial, para fazer a comparação do consumo de energia com uma iluminação natural adequada, ou seja, com 100% de autonomia de iluminação natural;

2ª) COM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL - Considerando a iluminação artificial sempre ligada, para verificar o quanto de economia se poderia alcançar se o projeto de iluminação natural estivesse adequado;

3ª) COM DIMERIZAÇÃO - Considerando a iluminação artificial, porém com controlador dimerizável, na qual a iluminação artificial só seria ligada quando o nível de iluminação de 500 lux (recomendado para escritórios pela NBR 8995-1) não fosse alcançado pela iluminação natural.

Em consequência destas 3 condições, as simulações resultaram em 180 casos.

3.6. Avaliação qualitativa da iluminação natural

A avaliação qualitativa da iluminação natural foi desenvolvida através de simulação computacional estática com o programa Rhinoceros com o plugin Diva, em dias característicos de inverno e de verão, nos modelos propostos que

apresentaram o melhor desempenho lumínico e termoenergético, de forma paralela, e a melhor autonomia de iluminação natural. Também foi avaliado o modelo que apresentou o melhor desempenho lumínico (maior uniformidade e menos possibilidade de ofuscamento), com o uso de prateleiras de luz.

Foram avaliados os parâmetros uniformidade luminosa e a possibilidade de ofuscamento, nos horários das 10h, 12h, 14h e 16h, nos dias de solstício de inverno (21 de junho) e no solstício de verão (21 de dezembro), sob a condição de céus parcialmente nublado e claro, da CIE (Comissão Internacional de Iluminação), com dados de radiação disponibilizados pelo programa Rhinoceros for Diva. Esses tipos de céus são os mais adequados para avaliações de possibilidade de ofuscamento por iluminação natural.

Segundo a NBR 8995-1(2013), a uniformidade da iluminância na tarefa não pode ser menor que 0,7, no entanto, quando, em um sistema de iluminação, a localização precisa da tarefa visual não puder ser definida devido à localização ser desconhecida e/ou a atividade realizada envolver um número de tarefas visuais diferentes, é recomendado que as diversas áreas de tarefa sejam combinadas para formar uma área maior (referenciada como a área de trabalho). Se a distribuição da iluminância nestas áreas maiores tiver uma uniformidade $\geq 0,6$, pode ser assumido que a uniformidade é $\geq 0,7$, necessária para atender às áreas de tarefas individuais. Nesta dissertação, adotou-se como adequadas valores de uniformidade da iluminância $\geq 0,7$.

Quanto a possibilidade de ofuscamento, segundo diversos autores (Nabil, Mardaljevic, 2006; IESNA, 2011; Gonçalves, Vianna, Moura, 2011; FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2016), ambientes com iluminâncias a partir de 2000 lux estão sujeitos a produzir desconforto visual, térmico e possibilidade de ofuscamento. Portanto, definiu-se que valores acima de 2000 lux serão considerados, na presente dissertação, como passíveis de causar ofuscamento.

3.7. Verificação da viabilidade financeira

A verificação da viabilidade econômica das modificações propostas para o modelo padrão, que possibilitaram a otimização dos seus desempenhos lumínico e termoenergético, foi realizada através de uma análise que objetivou verificar o impacto financeiro da implantação das diferentes características construtivas sugeridas, bem como o tempo de retorno do investimento.

A avaliação econômica foi baseada no cálculo de *payback* simples. O *payback* é um indicador do tempo de retorno do investimento, em anos. O *payback* simples é obtido a partir da fração do investimento realizado sobre o custo anual de energia economizada, como mostra a equação 2. Esse procedimento permitiu analisar o tempo de recuperação do investimento.

$$PBs = \frac{I}{CA} \quad [2]$$

Onde:

PBs= *payback* simples (anos)

I= investimento realizado (R\$)

CA= custo anual da energia economizada (RS/ano)

Portanto, a avaliação econômica consistiu na verificação da economia ou gasto de energia (kWh/ano) obtida para cada característica modificada nos modelos que apresentaram, de forma paralela, melhor desempenho lumínico e termoenergético, através da verificação do custo do kWh para aferir monetariamente a economia obtida.

Essa etapa da pesquisa foi fundamental para que se conhecesse a aplicabilidade das características propostas em uma edificação pública, que normalmente conta com orçamentos restritos, na zona bioclimática 03, e com melhor desempenho lumínico e termoenergético.

4 RESULTADOS

4.1 Avaliação do desempenho lumínico

A avaliação do desempenho lumínico consistiu em verificar o nível de iluminação do modelo padrão e dos modelos propostos, através da Autonomia de Iluminação Natural (Daylight Autonomy - DA), ou seja, a porcentagem de horas diurnas ocupadas por ano em que as iluminâncias no plano de trabalho atingem o valor predeterminado de 500 lux, adequado à tarefa, segundo a NBR 8995-1 (2013).

Os primeiros resultados apresentados referem-se a avaliação do modelo padrão por orientação solar.

Obteve-se uma maior DA no modelo orientado ao NE e NO, que apresentou um percentual de 64,26%, seguido das orientações L e O (DA= 63,83%).

Os piores percentuais de DA foram os verificados nas orientações SE e SO (DA= 55,87%) e S (DA= 56,78%). A diferença entre o melhor desempenho lumínico (orientações NE e NO) e o pior (orientações SO e SE) corresponde a um percentual de 8,37% que representa 306 horas/ano de DA, ou seja, mais de um mês de autinomia no horário de funcionamento do prédio (tab. 29).

Tabela 29 - DA do modelo padrão por orientação

Orientação	NORTE	LESTE-OESTE	SUL	NORDESTE-NOROESTE	SUDOESTE-SUDESTE
DA	61,30	63,83	56,78	64,26	55,87

Fonte: Autora, 2017

Apresentam-se os resultados obtidos através das simulações de todos os modelos, separados por orientações solares para facilitar a leitura dos dados coletados.

4.1.1 Modelos orientados ao norte

Nos resultados das avaliações dos modelos com o uso de prateleira de luz, observou-se que, em todos os casos simulados, a DA foi reduzida e

aproximadamente 1%, quando comparada com o modelo padrão, que equivale a 36,5 horas anuais de DA, ou seja, não apresentou uma melhora na DA.

Relativo aos vidros, percebeu-se que a substituição do vidro absorvente verde, usado no modelo padrão, para o vidro transparente, em todos os casos simulados, aumentou a DA em aproximadamente 5%, que representa 182,5 horas anuais a mais de DA, isto é, mais de 18 dias de autonomia no horário de funcionamento do prédio. Já a substituição do vidro absorvente verde para o vidro low-e, em todos os casos simulados, diminuiu a DA em aproximadamente 8%, que representa 292 horas anuais a menos de DA, ou seja, praticamente 1 mês de autonomia. Contudo, comparado-se o desempenho do vidro low-e com o do vidro transparente, chega-se a 13% de diferença entre eles, ou seja, 474,5 horas anuais de DA, isto é, mais de 1 mês e meio, (reduzidas se for instalado o vidro low-e ou acrescentadas se for instalado o vidro transparente).

Quanto às cores internas de algumas paredes, notou-se que em todos os casos simulados a utilização das cores claras aumentaram a DA, no entanto, esse aumento chegou no máximo a 1%, que equivale a 36,5 horas anuais de DA.

Em suma, na orientação norte, verificou-se que o caso N_SP_2_C (sem prateleira de luz, com vidro transparente e cores internas claras) obteve a melhor DA, que foi de 66,85%, e o caso N_CP_3_E (com prateleira de luz, com vidro low-e e com poucas cores internas escuras) apresentou a pior DA, que resultou em 52,42%, ou seja, 14,43% de diferença entre o melhor caso e o pior caso, conforme tab. 30 e 31 e Fig. 23, resultando em 527 horas anuais de DA, ou seja, quase dois meses de autonomia de iluminação natural no horário de funcionamento do prédio.

Tabela 30 - Índices DA na orientação norte, sem o uso de prateleiras de luz

SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO NORTE - SEM PRATELEIRA DE LUZ							
		N_SP_1_E	N_SP_1_C	N_SP_2_E	N_SP_2_C	N_SP_3_E	N_SP_3_C
TÉRREO	SALÃO	57,11	58,39	62,89	64,22	48,11	48,59
	CHEFIA	89,56	89,89	93,33	93,56	78,89	79
SUPERIOR	SALÃO	59,67	60,28	64,04	65,35	52,17	53,06
	SECRETARIA	19	19,72	24,11	23,67	12,39	12,83
	CHEFIA	95,33	95,17	96,33	96,42	92	92,33
	DIREÇÃO	97,22	97,22	98,33	98,33	94,11	94,44
	REUNIÕES	93,11	93,11	95,44	95,56	84,78	84,89
MÉDIA		61,30	62,07	65,85	66,85	53,55	54,15

Fonte: Autora, 2017

Tabela 31 - Índices DA na orientação norte, com o uso de prateleiras de luz

SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO NORTE - COM PRATELEIRA DE LUZ							
		N_CP_1_E	N_CP_1_C	N_CP_2_E	N_CP_2_C	N_CP_3_E	N_CP_3_C
TÉRREO	SALÃO	56,69	57,41	61,56	63,78	47,46	48,06
	CHEFIA	89,22	89,44	93,22	93,78	79,22	79,89
SUPERIOR	SALÃO	57,2	58,2	62,06	62,26	49,96	50,3
	SECRETARIA	19	18,61	23	23,17	12,83	13,33
	CHEFIA	95,25	95,17	96,42	96,5	92	91,83
	DIREÇÃO	97,22	97,22	98,11	98,33	93,89	93,67
	REUNIÕES	91,78	92,11	94,89	94,78	83,33	81,89
MÉDIA		60,10	60,75	64,47	65,41	52,42	52,77

Fonte: Autora, 2017

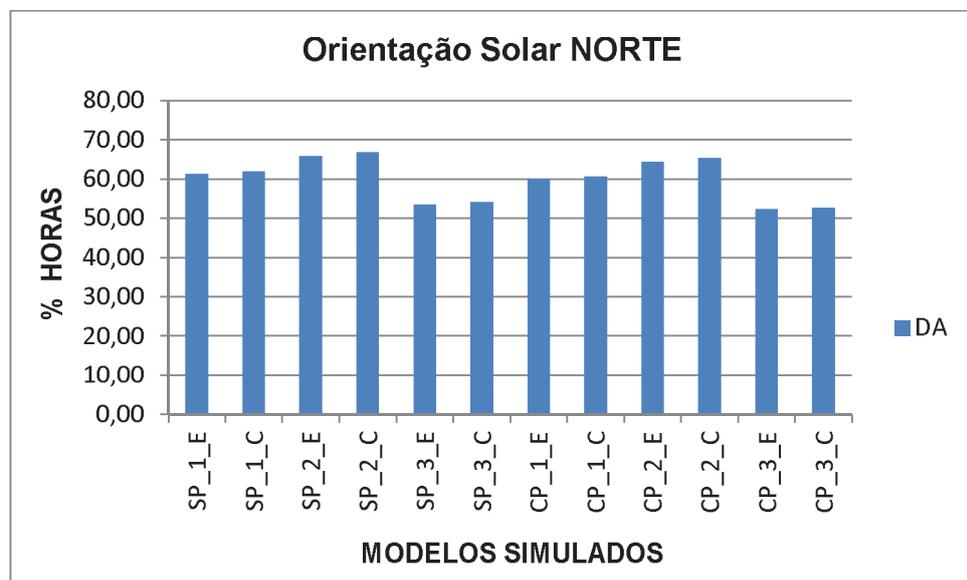


Figura 23 - DA dos modelos na orientação NORTE

Fonte: Autora, 2017

4.1.2 Modelos orientados ao leste e oeste

Nas orientações leste e oeste, verificou-se que o caso L-O_SP_2_C (sem prateleira de luz, com vidro transparente e cores internas claras) obteve a melhor DA, que foi de 69,90% e o caso L-O_CP_3_E (com prateleira de luz, com vidro low-e e com algumas paredes em cores internas escuras) apresentou a pior DA, que resultou em 54,38%, ou seja, 15,52% de diferença entre o melhor caso e o pior caso, conforme tab. 32 e 33 e Fig. 24, resultando em 566 horas anuais de DA, ou seja, quase dois meses de autonomia de iluminação natural no horário de funcionamento do prédio.

Tabela 32 - Índices DA nas orientações leste e oeste, sem o uso de prateleiras de luz

SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO L-O - SEM PRATELEIRA DE LUZ							
		L-O_SP_1_E	L-O_SP_1_C	L-O_SP_2_E	L-O_SP_2_C	L-O_SP_3_E	L-O_SP_3_C
TÉRREO	SALÃO	61,7	62,11	66,87	68,59	52,26	52,56
	CHEFIA	81,11	83	90,11	89,33	65,22	65,67
SUPERIOR	SALÃO	60,02	61,35	65,96	66,59	53,04	53,8
	SECRETARIA	32,22	34,33	37,72	38,44	26,56	26,72
	CHEFIA	96,5	96,5	97,42	97,58	94,58	94,75
	DIREÇÃO	95,89	95,67	97,22	97,44	90,89	90,89
	REUNIÕES	93,33	93,56	95	95,22	86,78	86,22
MÉDIA		63,83	64,73	68,97	69,90	56,09	56,51

Fonte: Autora, 2017

Tabela 33 - Índices DA nas orientações leste e oeste, com o uso de prateleiras de luz

SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO L-O - COM PRATELEIRA DE LUZ							
		L-O_CP_1_E	L-O_CP_1_C	L-O_CP_2_E	L-O_CP_2_C	L-O_CP_3_E	L-O_CP_3_C
TÉRREO	SALÃO	60,06	61,11	66,3	67,26	51,2	52,11
	CHEFIA	82,78	81,22	90,44	89,33	66,56	64,89
SUPERIOR	SALÃO	58,2	59,09	63,33	64,24	50,11	50,61
	SECRETARIA	29,11	29,56	35,28	35,5	24	23,94
	CHEFIA	96,25	96,25	97,25	97,17	94,17	94,33
	DIREÇÃO	96	96	97,33	97,22	91,11	91,22
	REUNIÕES	93,44	93,56	95,33	95,33	86,78	86,78
MÉDIA		62,33	63,05	67,56	68,24	54,38	54,87

Fonte: Autora, 2017

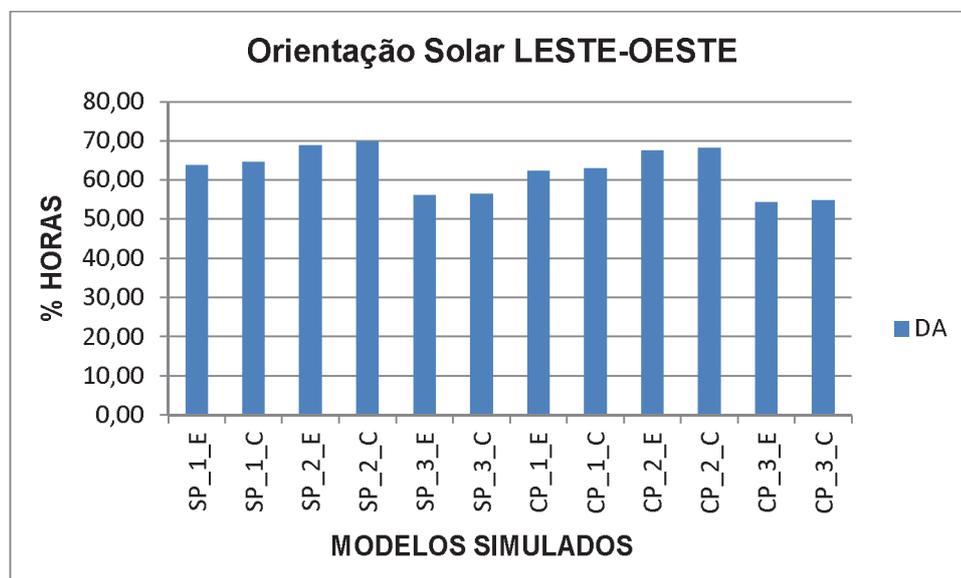


Figura 24 - DA dos modelos nas orientações LESTE e OESTE

Fonte: Autora, 2017

4.1.3 Modelos orientados ao nordeste e noroeste

Nas orientações nordeste e noroeste, verificou-se que o caso NE-NO_SP_2_C (sem prateleira de luz, com vidro transparente e cores internas claras)

obteve a melhor DA, que foi de 69,94% e o caso NE-NO_CP_3_E (com prateleira de luz, com vidro low-e e com algumas paredes em cores internas escuras) apresentou a pior DA, que resultou em 54,26%, ou seja, 15,68% de diferença entre o melhor caso e o pior caso, conforme tab. 34 e 35 e Fig. 25, resultando em 572 horas anuais de DA, ou seja, quase dois meses de autonomia de iluminação natural no horário de funcionamento do prédio.

Tabela 34 - Índices DA nas orientações nordeste e noroeste, sem o uso de prateleiras de luz

SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO NE-NO - SEM PRATELEIRA DE LUZ							
		NE-NO_SP_1_E	ENE-NO_SP_1_C	ENE-NO_SP_2_E	ENE-NO_SP_2_C	ENE-NO_SP_3_E	ENE-NO_SP_3_C
TÉRREO	SALÃO	61,31	61,87	66,46	67,69	52	51,98
	CHEFIA	85,67	85,11	91,11	91,56	73,56	73,22
SUPERIOR	SALÃO	62,8	62,98	68,19	69,3	54,69	55,19
	SECRETARIA	23,67	23,72	28	28,67	16,44	16,44
	CHEFIA	95,42	95,25	96,42	96,42	92,58	92,67
	DIREÇÃO	96,22	96,44	97,78	97,89	91,33	91,44
	REUNIÕES	92,44	92,56	94,67	94,67	83,11	83,89
MÉDIA		64,24	64,51	68,98	69,94	55,97	56,19

Fonte: Autora, 2017

Tabela 35 - Índices DA nas orientações nordeste e noroeste, com o uso de prateleiras de luz

SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO NE-NO - COM PRATELEIRA DE LUZ							
		NE-NO_CP_1_E	ENE-NO_CP_1_C	ENE-NO_CP_2_E	ENE-NO_CP_2_C	ENE-NO_CP_3_E	ENE-NO_CP_3_C
TÉRREO	SALÃO	60,06	60,44	65,8	67,41	50,7	52,43
	CHEFIA	85,56	86,22	91,22	91,33	74,11	74,44
SUPERIOR	SALÃO	60,02	60,74	65,02	67,19	51,56	52,06
	SECRETARIA	23,5	23,5	28,56	29	16,56	16,11
	CHEFIA	95,33	95,25	96,42	96,58	92,08	92,42
	DIREÇÃO	96,22	96,11	97,89	97,78	91,22	91,11
	REUNIÕES	92,44	92,44	94,89	94,78	83,22	83,22
MÉDIA		62,66	63,10	67,54	69,03	54,26	55,09

Fonte: Autora, 2017

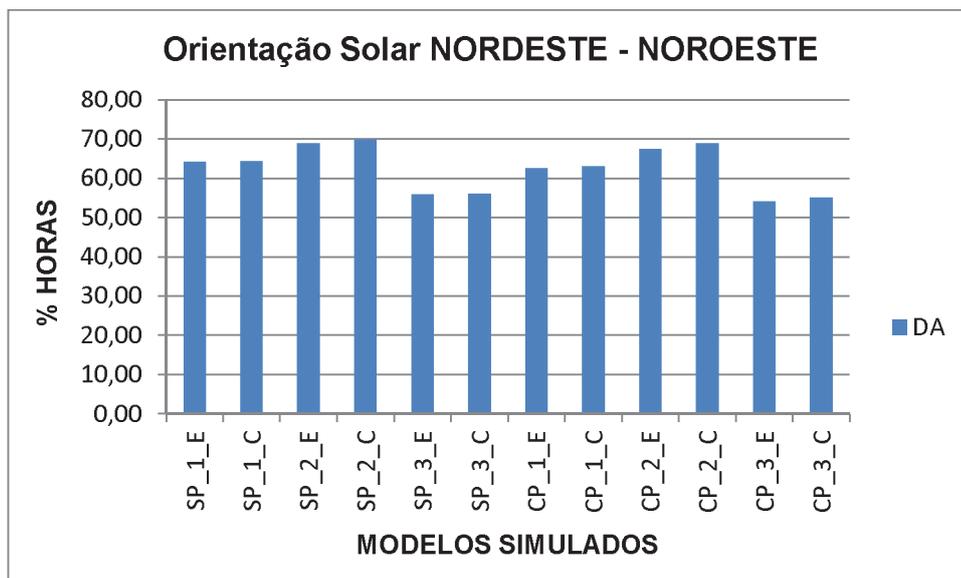


Figura 25 - DA dos modelos nas orientações NORDESTE e NOROESTE

Fonte: Autora, 2017

Através dos resultados de desempenho lumínico apresentados, percebe-se que as características construtivas alteradas mais relevantes, para este modelo de prédio administrativo, foram a orientação solar e o vidro. A tab. 36 apresenta as diferenças percentuais de DA das características alteradas nos modelos propostos, em relação ao modelo padrão.

Tabela 36 - Relação das características alteradas com a DA

CARACTERÍSTICAS ALTERADAS				
Orientação		Norte	Leste - Oeste	Nordeste - Noroeste
Prateleiras de luz		- 1% de DA	- 2% de DA	- 1% de DA
Vidros	Absorvente para comum transparente	+ 5% de DA	+5% de DA	+5% de DA
	Absorvente para low-e	- 8% de DA	- 8% de DA	- 8% de DA
	Comum transparente para low-e	- 13% de DA	- 13% de DA	- 14% de DA
Cores claras (80% reflexão)		+1% de DA	+1% de DA	+1% de DA

Fonte: Autora, 2017

O uso das prateleiras de luz diminuíram de 1 a 2% a DA, muito embora a bibliografia aponte os seus benefícios na qualidade da iluminação natural, através da redução do risco de ofuscamento e da distribuição mais homogênea da luminosidade ao longo do ambiente, alcançando espaços mais profundos, pelo aumento da participação da reflexão do teto (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993; GONÇALVES; VIANNA; MOURA, 2011; IESNA, 2011; LECHNER, 2015).

O uso das cores claras não apresentou grande modificação nos resultados, entretanto, é bom salientar que, para este estudo de caso, poucas paredes foram consideradas com reflexões escuras, isto é, com reflexão de 15%. Caso o modelo estudado apresentasse maiores quantidades de paredes escuras, provavelmente acarretaria um maior impacto nos resultados.

Outra questão importante a ser observada sobre o uso das cores é que, para obras públicas, a cor não interfere no valor desembolsado pelas Instituições, pois,

como regra geral, o preço de referência é baseado nos custos do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), o qual não difere preços em função do tipo de cor. Já para obras privadas, a cor interfere no custo da obra, e quanto mais escura for a cor, mais elevado será o custo e menos autonomia de iluminação natural proporcionará aos ambientes internos.

Dos modelos simulados, o que obteve o melhor desempenho lumínico referente a DA foi o NE-NO_SP_2_C (orientação nordeste - noroeste, sem prateleira de luz, vidro transparente e com cores claras). Apresenta-se na Fig. 26, uma imagem dos resultados da avaliação de desempenho lumínico, extraída do programa.

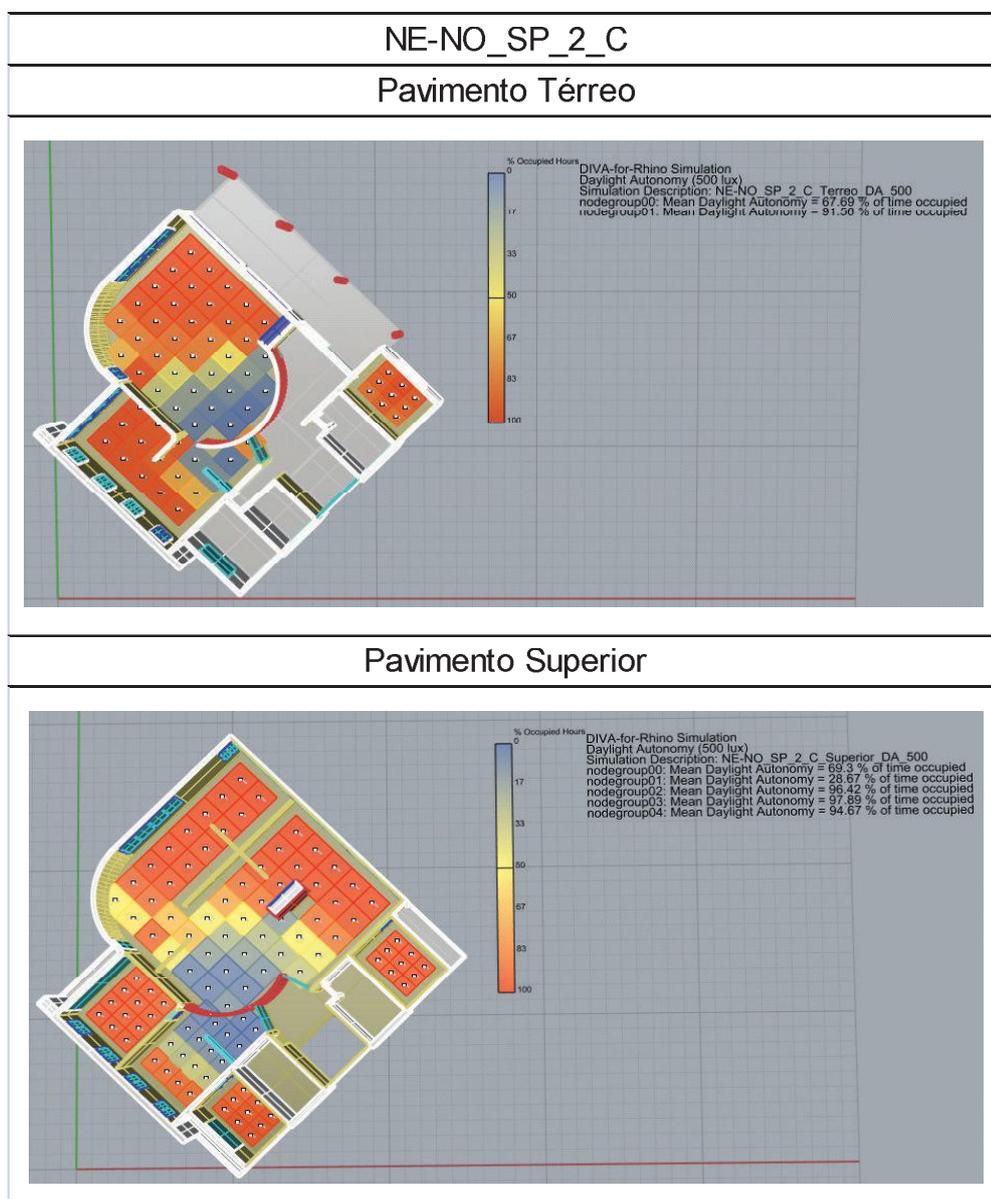


Figura 26 - Percentual de DA do modelo com melhor desempenho lumínico
Fonte: Autora, 2017

4.1.4 Avaliação dimensional das aberturas

Tratando-se de estabelecer relações entre o desempenho lumínico dos ambientes e as dimensões das aberturas pelas quais ingressa a iluminação natural, procedeu-se a uma análise do dimensionamento das aberturas no modelo de prédio administrativo, segundo alguns estudos referenciais.

O Código de Obras do município do Rio Grande (1972) exige aberturas com área mínima de um oitavo ($1/8$) da superfície do piso, ou seja, 12,5%.

Para Mascaró (1990), a relação recomendada entre a área envidraçada e área de piso é de 15% para as aberturas na orientação norte e sul, e de 10% para as aberturas na orientação oeste e leste, quando se objetiva iluminação sem excesso de ganho ou perda térmica.

A IESNA (2011), sugere que, para satisfazer a maioria dos trabalhadores, as aberturas devem apresentar pelo menos, 20% da área da parede da abertura.

De acordo com Lechner (2015), a área da janela como porcentagem da área do piso não deve exceder 20% devido ao risco de superaquecimento do verão e às perdas de calor no inverno.

Conforme dados apresentados na tab. 37, observou-se que em relação às exigências do Código de Obras do município de Rio Grande (1972), todos os ambientes atendem as áreas mínimas das aberturas.

Verificou-se também que, referente ao estudo de Mascaró (1990), apenas um ambiente administrativo estudado atende aos valores recomendados entre a área envidraçada e a área do piso, e apenas na orientação norte - sul. O restante dos ambientes ultrapassam os limites propostos.

Notou-se que, referente às indicações da IESNA (2011), todas as aberturas apresentaram mais de 20% da área da parede da abertura, ou seja, estão de acordo com o sugerido, e segundo o estudo de Lechner, apenas um ambiente atende as proporções recomendadas, os demais ambientes excedem 20% da relação entre áreas de abertura e de piso.

Tabela 37 - Relação área de abertura com área de piso e parede

Pavimento	Ambiente	Área de parede com janela (m ²)	% área envidraçada	Área de abertura (m ²)	Área de piso (m ²)	Área abertura / Área de piso (%)	Área abertura / Área de parede com janela (%)	CÓDIGO DE OBRAS	MASCARÓ	IESNA	LECHNER
TÉRREO	Salão	110,25	78	49,5	164,62	30	45	V	X	V	X
	Chefia	13,8	81	4,8	15,64	31	35	V	X	V	X
SUPERIOR	Salão	95,04	84	44,2	175,2	25	47	V	X	V	X
	Secretaria	14,1	68	4,8	32,28	15	34	V	V	V	V
	Chefia	29,88	91	19,2	24,66	78	64	V	X	V	X
	Direção	24	91	9,6	15,64	61	40	V	X	V	X
	Reuniões	24	91	9,6	15,64	61	40	V	X	V	X

Fonte: Autora, 2017

Observou-se que, referente às recomendações de Mascaró (1990) e de Lechner (2015), apenas o ambiente Secretaria, que apresentou a menor DA em todos os casos simulados, atendeu às relações entre a área de abertura ou área envidraçada e a área de piso, supondo-se que apresentasse, a partir dessa adequação, um nível mínimo de iluminação onde não deveriam ocorrer excessos de ganhos ou perdas térmicas. Por outro lado, este ambiente dispõem de uma geometria que não facilita a penetração da luz natural mais profundamente no ambiente.

Os demais ambientes que não atenderam as recomendações de Mascaró (1990) e Lechner (2015) estão dispostos a ocorrências de excessos de ganhos ou perdas térmicas.

4.2 Avaliação do desempenho termoenergético

A avaliação do desempenho termoenergético consistiu em verificar o consumo em KWh/ano do modelo de prédio administrativo estudado, através da análise dos usos finais de energia de ar condicionado para aquecimento (heating) e resfriamento (cooling), iluminação artificial e equipamentos.

Foram simulados, 60 casos, dentre eles o modelo padrão (orientação solar variável, sem prateleiras de luz, com vidro absorvente verde e com algumas paredes internas com cores escuras), adotado pela Universidade como modelo de prédio administrativo, aqui denominado modelo padrão, e os modelos propostos, com

algumas características alteradas, conforme método já descrito no capítulo anterior. As avaliações termoenergéticas consideraram três condições de contorno: i) sem iluminação artificial; ii) com iluminação artificial; iii) com dimerização, o que resultou em 180 casos simulados.

Apresenta-se aqui uma síntese dos resultados das avaliações de desempenho termoenergético por condição de contorno e por orientação solar, de maneira similar à apresentação dos resultados da avaliação de desempenho lumínico. O Apêndice A contempla os mesmos resultados de maneira mais detalhada.

4.2.1 Resultados considerando os modelos sem iluminação artificial

No que se refere ao consumo por orientação solar, observou-se que o modelo NO_SP_1_C orientado ao noroeste apresentou o melhor desempenho, e que o modelo O_SP_2_C orientado ao oeste apresentou o pior desempenho, porém, verifica-se que a economia no consumo total do melhor caso para o pior caso é de aproximadamente 2%. A tab. 38 apresenta os resultados dos melhores e dos piores desempenhos termoenergéticos, por orientação.

Tabela 38 - Relação da orientação solar com o consumo total

Orientação	Desempenho	Consumo Total (kWh/ano)	Caso
NORTE	Melhor	15297,11	N_CP_3_E
	Pior	15360,87	N_CP_2_C
LESTE	Melhor	15210,09	L_SP_3_E
	Pior	15362,95	L_SP_2_C
OESTE	Melhor	15166,96	O_SP_3_E
	Pior	15443,66	O_SP_2_C
NORDESTE	Melhor	15224,29	NE_CP_3_E
	Pior	15365,68	NE_CP_2_C
NOROESTE	Melhor	15108,06	NO_SP_1_C
	Pior	15416,45	NO_SP_2_C

Fonte: Autora, 2017

Na orientação norte, os modelos propostos que apresentaram o melhor desempenho termoenergético foram os que apresentaram vidros low-e, principalmente, e cores escuras em algumas paredes. O uso das prateleiras de luz praticamente não interferiu nos resultados (Fig. 27).

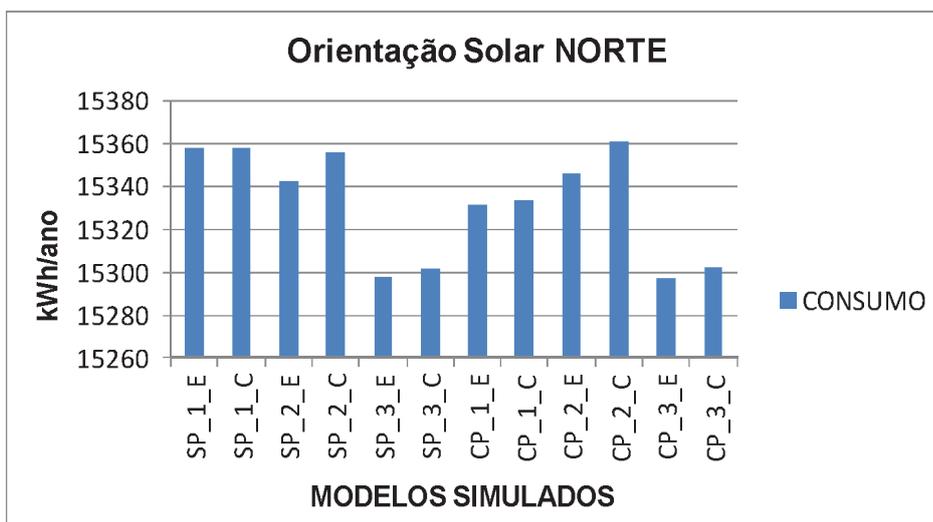


Figura 27 - Consumo dos modelos simulados na orientação NORTE

Fonte: Autora, 2017

Na orientação leste, os modelos propostos que apresentaram o melhor desempenho termoenergético foram os que contemplaram o uso de vidros low-e, e sem o uso de prateleiras de luz. As cores internas, aplicadas nas paredes, claras ou escuras, não interferiram nos resultados, conforme dados apresentados na Fig. 28.

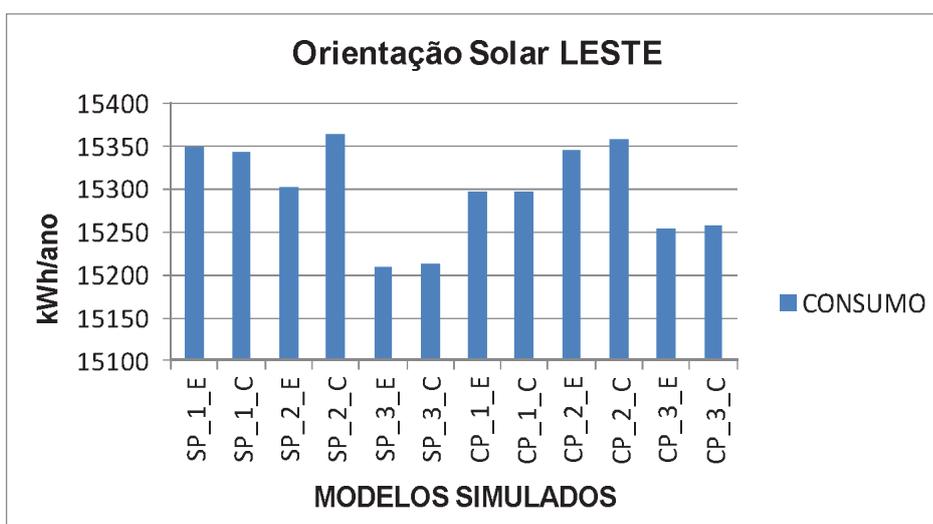


Figura 28 - Consumo dos modelos simulados na orientação LESTE

Fonte: Autora, 2017

Na orientação oeste, os modelos propostos que apresentaram o melhor desempenho termoenergético foram os que continham vidros low-e, sem o uso de prateleiras de luz. As cores das paredes internas dos ambientes não interferiram nos resultados (Fig. 29).

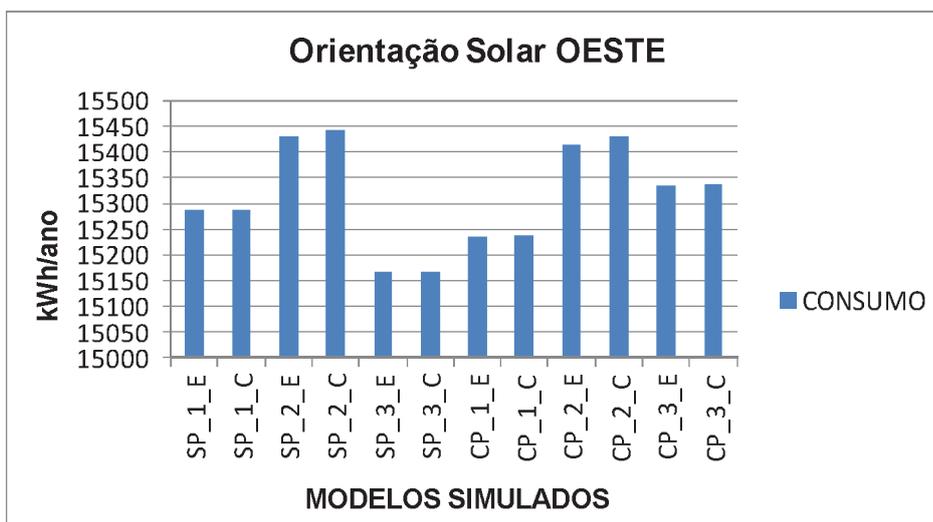


Figura 29 - Consumo dos modelos simulados na orientação OESTE

Fonte: Autora, 2017

Na orientação nordeste, os modelos propostos que apresentaram o melhor desempenho termoenergético foram os vidros low-e e as cores escuras. O uso das prateleiras de luz não interferiram nos resultados (Fig. 30).

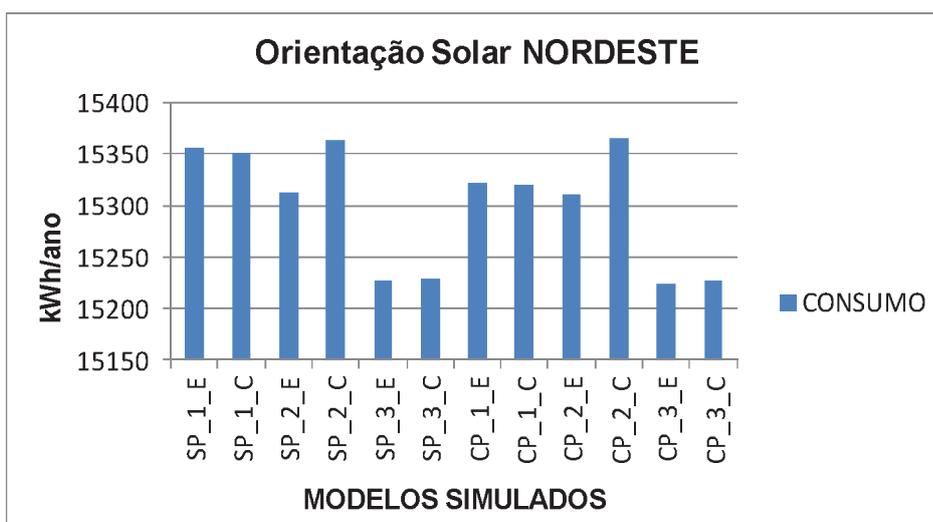


Figura 30 - Consumo dos modelos simulados na orientação NORDESTE

Fonte: Autora, 2017

Na orientação noroeste, os modelos propostos apresentaram o melhor desempenho termoenergético foram os vidros absorventes sem o uso de prateleiras de luz. As cores internas dos ambientes não interferiram nos resultados (Fig. 31).

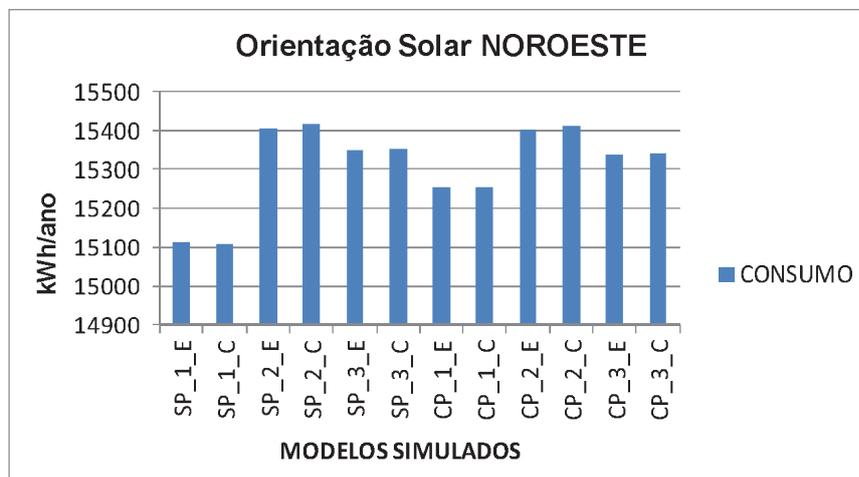


Figura 31 - Consumo dos modelos simulados na orientação NOROESTE
Fonte: Autora, 2017

Através desses resultados, observou-se que as características construtivas alteradas que causaram maior impacto no consumo dos modelos simulados, foram a orientação solar e o tipo de vidro, seguidos do uso de prateleiras de luz, conforme dados apresentados na tab. 39.

Tabela 39 - Relação das características alteradas com o consumo total do modelo padrão por orientação solar

		CARACTERÍSTICAS ALTERADAS				
Orientação		Norte	Leste	Oeste	Nordeste	Noroeste
Prateleiras de luz		- 0,2% de consumo total	+ e - 0,3% de consumo total	+ 1,1% de consumo total	- 0,2% de consumo total	+1% de consumo total
Vidros	Absorvente para comum transparente	+ 0,2% de consumo total	+ 0,4% de consumo total	+ 1,2% de consumo total	+ e - 0,3% de consumo total	+ 2% de consumo total
	Absorvente para low-e	- 0,4% de consumo total	- 0,9% de consumo total	- 0,8% de consumo total	- 0,9% de consumo total	+ 2% de consumo total
	Comum transparente para low-e	- 0,4% de consumo total	- 1% de consumo total	- 1,8% de consumo total	- 0,9% de consumo total	- 0,5% de consumo total
Cores claras (80% reflexão)		+ 0,1% de consumo total	+0,4% de consumo total	+0,1% de consumo total	+0,4% de consumo total	- 0,08 % de consumo total

Fonte: Autora, 2017

Observou-se que a escolha da orientação solar e do tipo de vidro instalado economizaram 2% do consumo total do modelo padrão. Observou-se também que, sob o ponto de vista termoenergético, a orientação solar cujo modelo apresentou melhor desempenho foi a noroeste, e os vidros que proporcionaram melhor desempenho foram o low-e seguido do absorvente.

Referente ao uso das prateleiras de luz, observou-se que esses dispositivos diminuíram o consumo dos modelos quando orientados ao norte, leste e nordeste, em aproximadamente 0,3%, porém aumentam o consumo nas orientações oeste e noroeste em aproximadamente 1%.

O uso de cores claras em todas as paredes internas dos ambientes simulados, aumentou o consumo total da edificação em até 0,4%, ou seja, foi a característica de menor relevância no consumo total do modelo.

4.2.2 Resultados considerando os modelos com iluminação artificial

Os 60 casos simulados, considerando a iluminação artificial sempre ligada, nos horários em que o modelo de prédio administrativo fosse ocupado (das 8 horas às 18 horas), possibilitaram a informação sobre a redução de consumo energético que poderia ser alcançada sempre que se potencializasse o uso da iluminação natural.

A Fig. 32, ilustra os valores de consumo nos modelos simulados sem e com iluminação artificial.

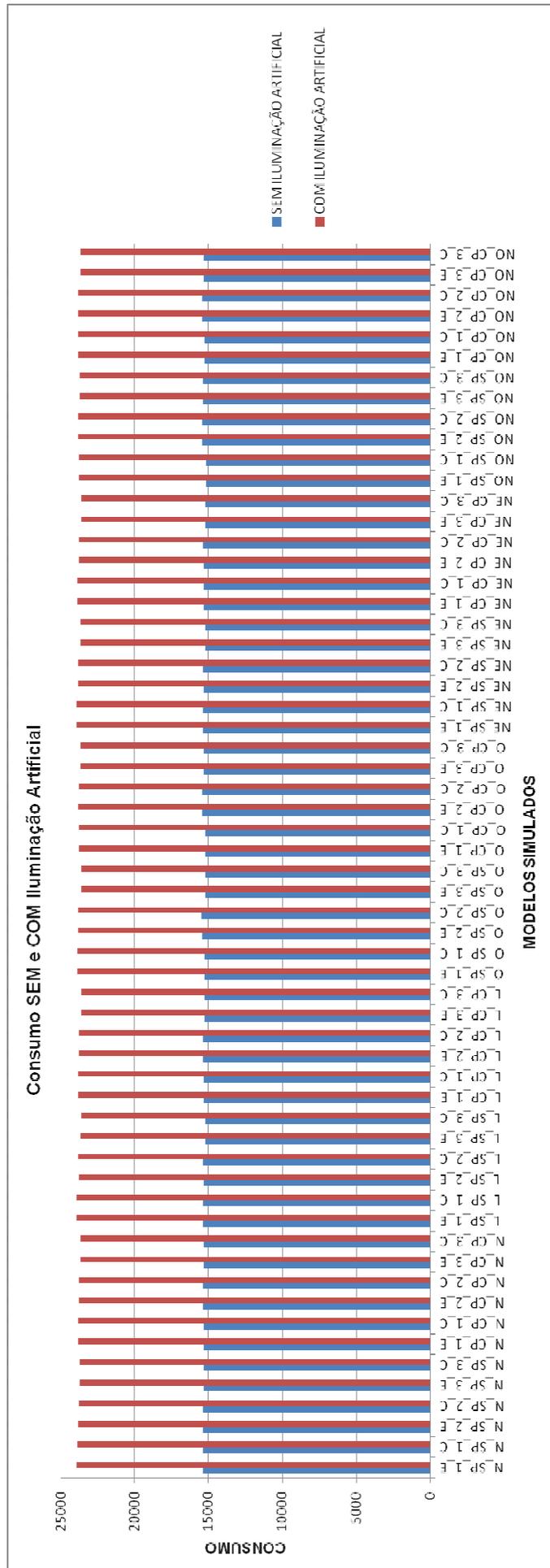


Figura 32- Gráfico do consumo sem e com iluminação artificial

Fonte: Autora (2017)

Observou-se que na condição de iluminação artificial sempre ligada, o consumo para aquecimento representou de 7 a 9% do consumo total dos modelos; o resfriamento, de 3 a 5%; a iluminação artificial de 36 a 37%; e os equipamentos representou de 51 a 52% do consumo total. .

Na condição anterior, sem considerar o uso da iluminação artificial, o aquecimento representou de 15 a 19% do consumo total do modelo; o resfriamento de 2 a 4%; e os equipamentos representaram de 79 a 81% do consumo total.

Verificou-se que o consumo dos equipamentos foram sempre os mesmos, embora representassem diferentes percentuais em relação ao consumo final dos modelos.

Comparando-se a situação que considerou a iluminação artificial sempre acesa com a situação sem iluminação artificial, notou-se que o consumo por refrigeração permaneceu praticamente o mesmo, porém o consumo por aquecimento foi menor na situação que considerou a iluminação artificial sempre acesa, devido ao calor gerado pela iluminação.

Entretanto, notou-se que o consumo total dos modelos, sem considerar a iluminação artificial, geraria uma economia de 35 a 36% quando comparado com os casos que consideraram o uso da iluminação artificial sempre ligada nos horários em que o prédio estaria funcionando, o que atesta a importância do uso adequado da iluminação natural.

4.2.3 Resultados considerando os modelos com iluminação artificial dimerizada

Os 60 casos simulados, considerando a condição do sistema de iluminação artificial contar com um controlador dimerizável, foram realizados com o objetivo de conhecer a redução de consumo que esse sistema poderia promover quando comparado à condição de iluminação artificial sempre ligada.

Controladores dimerizáveis são capazes de proporcionar uma significativa economia de energia através do controle da iluminação no ambiente de trabalho. Dessa forma, o usuário passa a utilizar os níveis adequados de iluminância, quando o controlador adequa o feixe de luz de acordo com a disponibilidade da iluminação natural e com as necessidades exigidas pela atividade, proporcionando um melhor desempenho lumínico do ambiente.

Essa medida foi testada nos modelos, por intermédio da simulação computacional, com a implantação de três sensores por ambiente, alterando os níveis de iluminação do ambiente interno de acordo com o horário e com a condição do céu ao longo do ano.

Acredita-se que essa condição de sistema de iluminação dimerizado seja representativa do caso adequado e real, pois ainda que uma edificação apresente autonomia em iluminação natural, sempre necessitará de iluminação artificial complementar e para uso noturno.

Entretanto, um edifício pode economizar uma quantidade significativa de energia quando a iluminação artificial estiver desligada, sempre que a iluminação natural estiver disponível. Segundo Lechner (2015), embora as pessoas possam ser invocadas à acender as luzes, poucas apagam quando elas não são mais necessárias. Isso é compreensível, porque contar com a iluminação natural e elétrica acesa, dobrando assim a iluminação requerida, não é visivelmente censurável e quase não percebida, pois o olho se adapta facilmente a um maior nível de iluminação.

Nesse contexto, observa-se a importância de um controle automático para desligar ou diminuir as luzes elétricas em resposta à disponibilidade da iluminação natural.

Ratifica-se que, no presente estudo, considerou-se que a iluminação artificial só seria ligada quando o nível de iluminação de 500 lux (recomendado para escritórios pela NBR 8995-1) não fosse alcançado pela iluminação natural.

Através da Fig. 33, pode-se observar os resultados dos casos simulados com iluminação artificial sempre ligada e com iluminação artificial dimerizada.

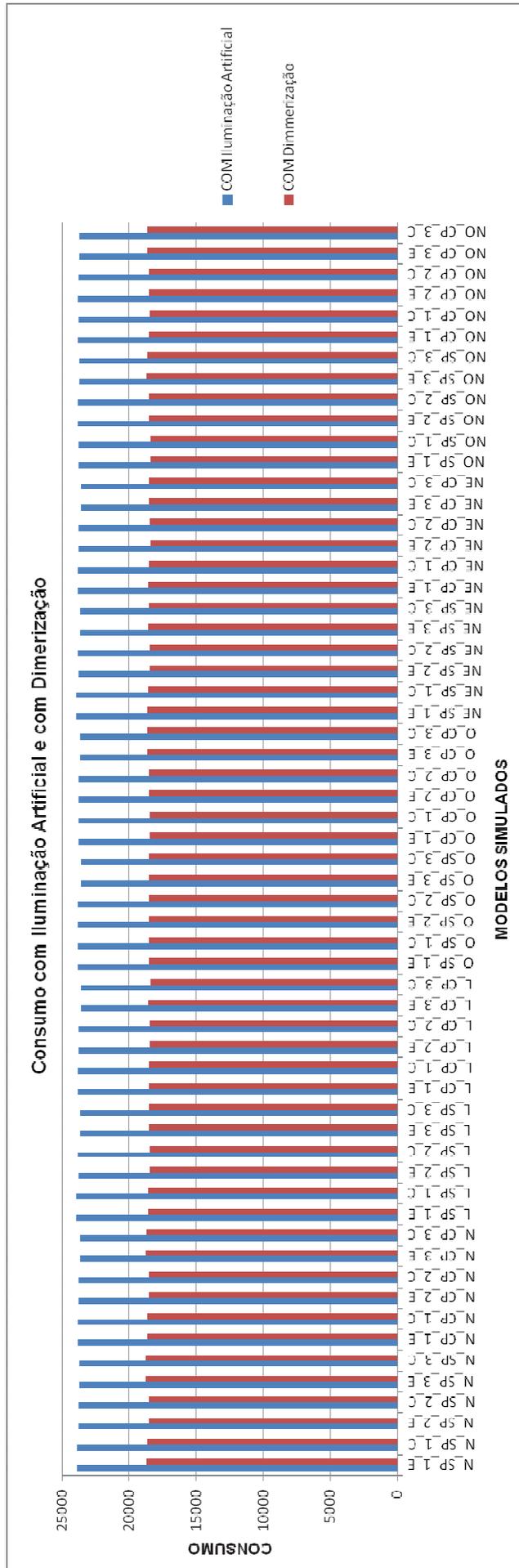


Figura 33 - Gráfico do consumo com iluminação artificial e com dimerização

Fonte: Autora (2017)

Reintera-se a observação de que na condição iluminação artificial sempre ligada, o aquecimento representou de 7 a 9% do consumo total do modelo; o resfriamento de 3 a 5%; a iluminação artificial de 36 a 37%; e os equipamentos representaram de 51 a 52% do consumo total.

Na condição com controlador dimerizável no sistema de iluminação artificial, o aquecimento representou de 11 a 14% do consumo total do modelo; o resfriamento de 2 a 5%; a iluminação artificial de 18 a 20%; e os equipamentos representaram de 65 a 66% do consumo total.

Observou-se que o consumo pelos equipamentos são sempre os mesmos, porém com percentuais diferentes em relação aos outros consumos, ou seja, eles não interferem no valor do consumo final.

Comparando-se a condição que considera a iluminação artificial sempre acesa com aquela com controladores dimerizáveis, notou-se que o consumo por refrigeração permanece praticamente o mesmo, porém o consumo por aquecimento é menor na situação que considera a iluminação artificial sempre acesa, devido ao calor gerado pela iluminação.

Entretanto, observou-se que o consumo total dos modelos, considerando o sistema de iluminação artificial com controladores de dimerização, geraria uma economia de 21 a 23% quando comparado com os casos que consideraram o uso da iluminação artificial sempre ligada nos horários em que o prédio estaria funcionando (tab. 40 e Fig. 34).

Tabela 40 - Percentuais de consumo parciais dos modelos em relação às condições do sistema de iluminação artificial

		Sem iluminação artificial	Com iluminação artificial	Com dimerização
Ar condicionado	Aquecimento	15 - 19%	7 - 9%	11 - 14%
	Resfriamento	2 - 4%	3 - 5%	2 - 5%
Iluminação artificial		0%	36 - 37%	18 - 20%
Equipamentos		79 - 81%	51 - 52%	65 - 66%

Fonte: Autora (2017)

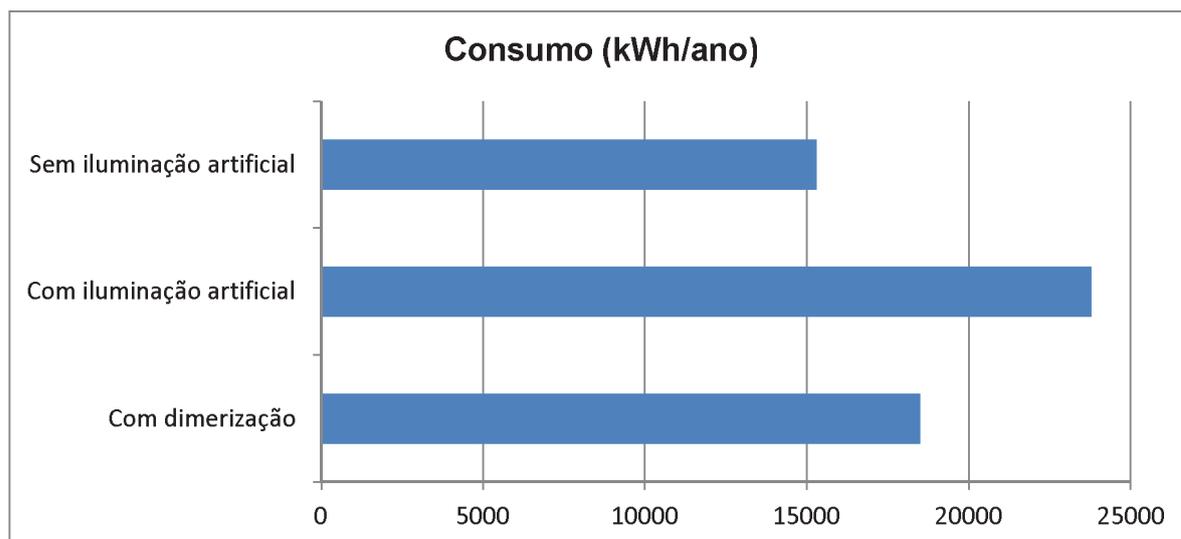


Figura 34 - Desempenho termoenergético dos modelos simulados por condição do sistema de iluminação artificial

Fonte: Autora (2017)

4.3 Desempenho lumínico x desempenho termoenergético

Apresentam-se a seguir, resultados sintetizados de desempenho lumínico e termoenergético analisados de forma paralela, utilizando-se os resultados que consideraram os modelos sem iluminação artificial, já que objetivou-se conhecer o impacto que algumas características modificadas poderiam trazer ao desempenho lumínico e termoenergético dos modelos propostos. Resultados mais detalhados estão descritos no Apendice B.

Através da análise conjunta dos resultados apresentados na tab. 41 e Fig. 35, observou-se que todas as características construtivas alteradas nos modelos propostos causaram algum impacto no desempenho lumínico e termoenergético do modelo padrão, entretanto, destacaram-se como características de maior relevância, a orientação solar e o tipo de vidro.

Tabela 41 - Impacto das características alteradas no desempenho lumínico e termoenergético dos modelos sem considerar a iluminação artificial

CARACTERÍSTICAS ALTERADAS SEM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL											
Orientação	Norte		Leste		Oeste		Nordeste		Noroeste		
	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	
Desempenho	-1% de DA	-0,2% de CT	-2% de DA	+ e - 0,3% de CT	-2% de DA	-0,3% e + 1,1% de CT	-1% de DA	-0,2% de CT	-1% de DA	+1% de CT	
Prateleiras de luz	-1% de DA	-0,2% de CT	-2% de DA	+ e - 0,3% de CT	-2% de DA	-0,3% e + 1,1% de CT	-1% de DA	-0,2% de CT	-1% de DA	+1% de CT	
Vidros	Absorvente para comum transparente	-0,1% e + 0,2% de CT	+5% de DA	-0,3% e + 0,4% de CT	+5% de DA	+ 1,2% de CT	+5% de DA	+ e - 0,3% de CT	+5% de DA	+ 2% de CT	
	Absorvente para low-e	-0,4% de CT	-8% de DA	-0,9% de CT	-0,8% e + 0,7% de CT	-8% de DA	-8% de DA	-0,9% de CT	-8% de DA	+ 1,6% de CT	
Cores claras (80% reflexão)	Comum transparente e para low-e	-0,4% de CT	-13% de DA	-1% de CT	-1,8% de CT	-13% de DA	-14% de DA	-0,9% de CT	-14% de DA	-0,5% de CT	
	Comum transparente e para low-e	+0,1% de CT	+1% de DA	+0,4% de CT	+0,1% de CT	+1% de DA	+1% de DA	+0,4% de CT	+1% de DA	-0,08% de CT	

Fonte: Autora, 2017

Legenda:

L - lumínico

T - termoenergético

CT - consumo total

DA - autonomia de iluminação natural

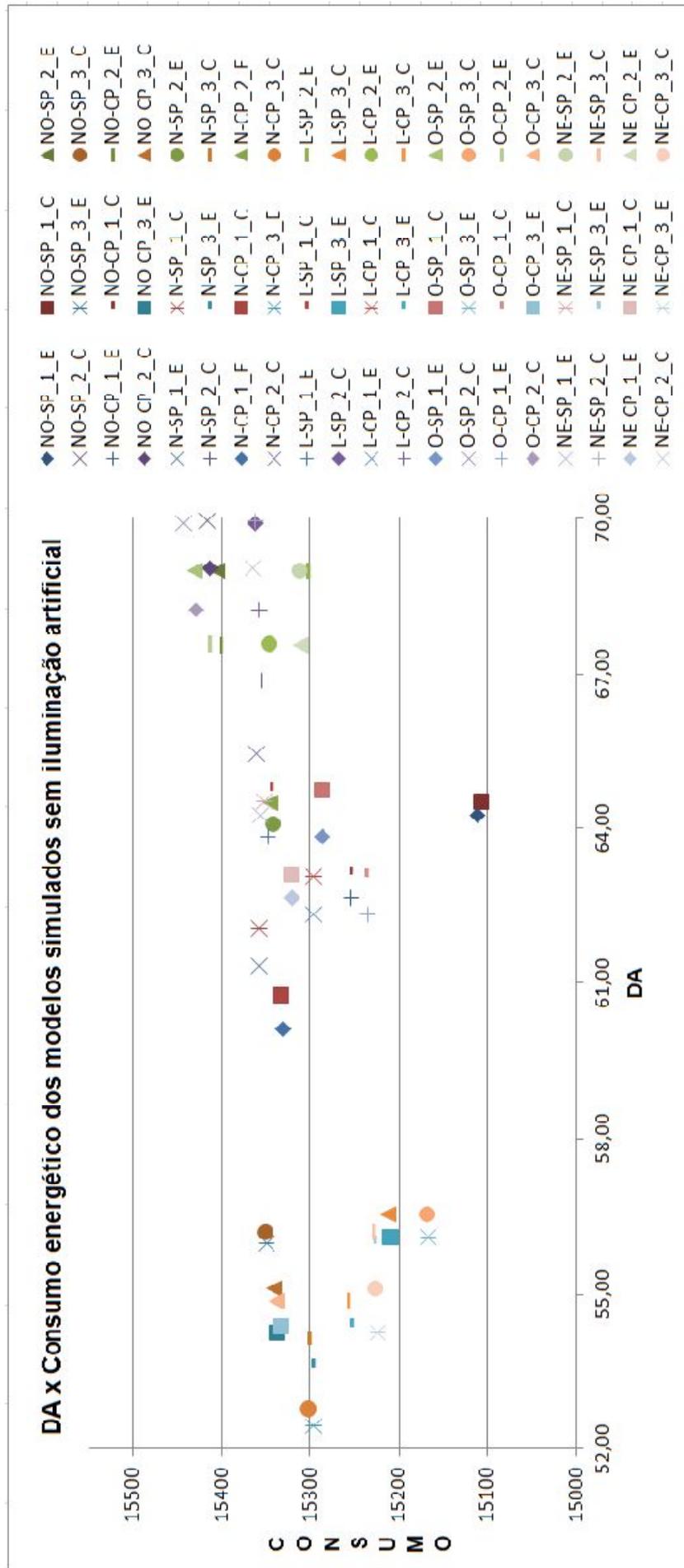


Figura 35 - DA x Consumo energético dos modelos simulados sem iluminação artificial

Fonte: Autora, 2017

A orientação solar, no que diz respeito ao desempenho lumínico, chegou a aumentar em até 8,37% a DA (306 horas/ano), e para o desempenho termoenergético reduziu em 2% o consumo total.

O uso de prateleiras de luz, para o desempenho lumínico, diminuiu de 1 a 2% a DA e para o desempenho termoenergético, aumentou o consumo em até 1,1%, porém também diminuiu o consumo em até 0,3%, dependendo da orientação solar do modelo simulado. Apesar da maioria dos resultados relativos ao uso da prateleira de luz apontarem para uma diminuição de DA, essa redução pareceu pouco relevante. Por outro lado, sabe-se que as prateleiras de luz proporcionam uma iluminação natural mais profunda e uniforme, ao mesmo tempo que eliminam o excesso de brilho, que normalmente acompanha o uso de grandes aberturas. As prateleiras de luz também diminuem o consumo energético das edificações, em determinadas orientações (IESNA, 2011; LECHER, 2015).

Quanto aos tipos de vidro, o melhor desempenho lumínico correspondeu ao vidro comum transparente, seguido do vidro absorvente. Para o desempenho termoenergético, os melhores resultados foram para o vidro absorvente, seguido do low-e. A diferença entre os valores percentuais de DA entre o vidro transparente e o absorvente foi de 5%, em todas as orientações analisadas. Já a diferença de DA entre o vidro transparente e o low-e, foi de 14%, ou seja, quase dois meses de autonomia de iluminação, nos horários de funcionamento do prédio.

No que se refere ao desempenho termoenergético, a redução foi de 2% do consumo total do modelo estudado, entre os vidros low-e e o comum transparente; e de 0,9%, no máximo, entre o low-e e o absorvente. Segundo Lechner (2015), deve-se evitar o uso de vidros comuns transparentes para eliminar a possibilidade de ofuscamento.

Entretanto, destacou-se como melhor tipo de vidro, para os modelos estudados, o vidro absorvente que apresentou resultados correspondentes à baixo consumo e boa DA.

Outro fator a ser considerado na escolha do vidro para o modelo analisado, foi a maior necessidade energética para aquecimento (16 a 18% do consumo total) do que para resfriamento (2 a 5% do consumo total), e o vidro do tipo low-e, além de reduzir a transmissividade luminosa, se comparado com o vidro absorvente e com o vidro comum, também diminuiu a radiação que penetra no ambiente interno, aumentando a possibilidade de desconforto térmico por frio.

O uso de cores claras (reflexão de 80%) em todas as paredes internas, para o desempenho lumínico, aumentou 1% na DA e para o desempenho termoenergético, aumentou o consumo em 0,4%, ou seja, as cores claras melhoraram o desempenho lumínico, porém as cores escuras melhoraram o desempenho termoenergético dos modelos. Outro aspecto importante observado é que as cores escuras foram aplicadas nas paredes mais profundas do modelo padrão, aonde a luz perde em intensidade, portanto seria viável o uso de paredes com reflexões mais altas, para promover a eficiência da iluminação natural e possibilitar a sensação de um espaço bem iluminado usando a menor quantidade de luz (LECHNER, 2015).

Por outro lado, grandes variações de cores podem ser problemáticas. Os interiores do escritório devem ser iluminados para proporcionar uma boa visibilidade sem cores distrativas, no entanto, é importante fornecer variação suficiente em luminância ou cor para contribuir para um ambiente estimulante e atraente. Onde não há tarefas visuais prolongadas, como em lobbies, corredores e recepções, as variações de cores são encorajadas, usando cores atraentes e pontos focais apropriados de iluminâncias altas para chamar a atenção (IESNA, 2011).

A partir destas análises, buscou-se determinar o modelo com melhor desempenho lumínico e termoenergético, nesse estudo, os modelos: NO_SP_1_C (orientação solar noroeste, sem prateleiras de luz, com vidro absorvente e com todas as paredes internas com cores claras); e NO_SP_1_E (orientação solar noroeste, sem prateleiras de luz, com vidro absorvente e com algumas paredes internas com cores escuras). Esses dois modelos apresentaram equilíbrio entre os valores de DA e de consumo energético.

Apresentam-se a seguir, resultados sintetizados de desempenho lumínico e termoenergético analisados de forma paralela, utilizando-se os resultados que consideraram os modelos com iluminação artificial dimerizada.

Através da análise conjunta dos resultados apresentados na tab. 42 e Fig. 36, observou-se que todas as características construtivas alteradas nos modelos propostos causaram algum impacto no desempenho lumínico e termoenergético do modelo padrão, entretanto, a exemplo dos modelos sob a condição sem sistema de iluminação artificial, já avaliados, destacaram-se como características de maior relevância, a orientação solar e o tipo de vidro.

Tabela 42 - Impacto das características alteradas no desempenho lumínico e termoenergético dos modelos considerando a iluminação artificial dimerizada

CARACTERÍSTICAS ALTERADAS DIMERIZAÇÃO											
Orientação	Norte		Leste		Oeste		Nordeste		Noroeste		
	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	
Desempenho											
Prateleiras de luz	-1% de DA	-0,2% de CT	-2% de DA	-0,7% e +0,1% de CT	-2% de DA	-0,4% e +0,7% de CT	-1% de DA	-0,3% de CT	-1% de DA	-0,1% e +0,5% de CT	
Vidros	Absorvente para comum transparente	+5% de DA	+5% de DA	-0,9% de CT	+5% de DA	+0,2% de CT	+5% de DA	-0,9% de CT	+5% de DA	+0,7% de CT	
	Absorvente para low-e	-8% de DA	-8% de DA	+0,2% de CT	-8% de DA	-0,2% e +0,8% de CT	-8% de DA	-0,2% de CT	-8% de DA	+1,5% de CT	
Cores claras (80% reflexão)	Comum transparente e para low-e	-13% de DA	-13% de DA	+0,5% de CT	-13% de DA	-0,2% e +0,5% de CT	-13% de DA	+0,8% de CT	-14% de DA	+0,9% de CT	
		+1% de DA	+1% de DA	-0,2% de CT	-0,2% de DA	-0,2% de CT	+1% de DA	0,1% de CT	+1% de DA	-0,1% de CT	

Fonte: Autora, 2017

Legenda:

L - lumínico

T - termoenergético

CT - consumo total

DA - autonomia de iluminação natural

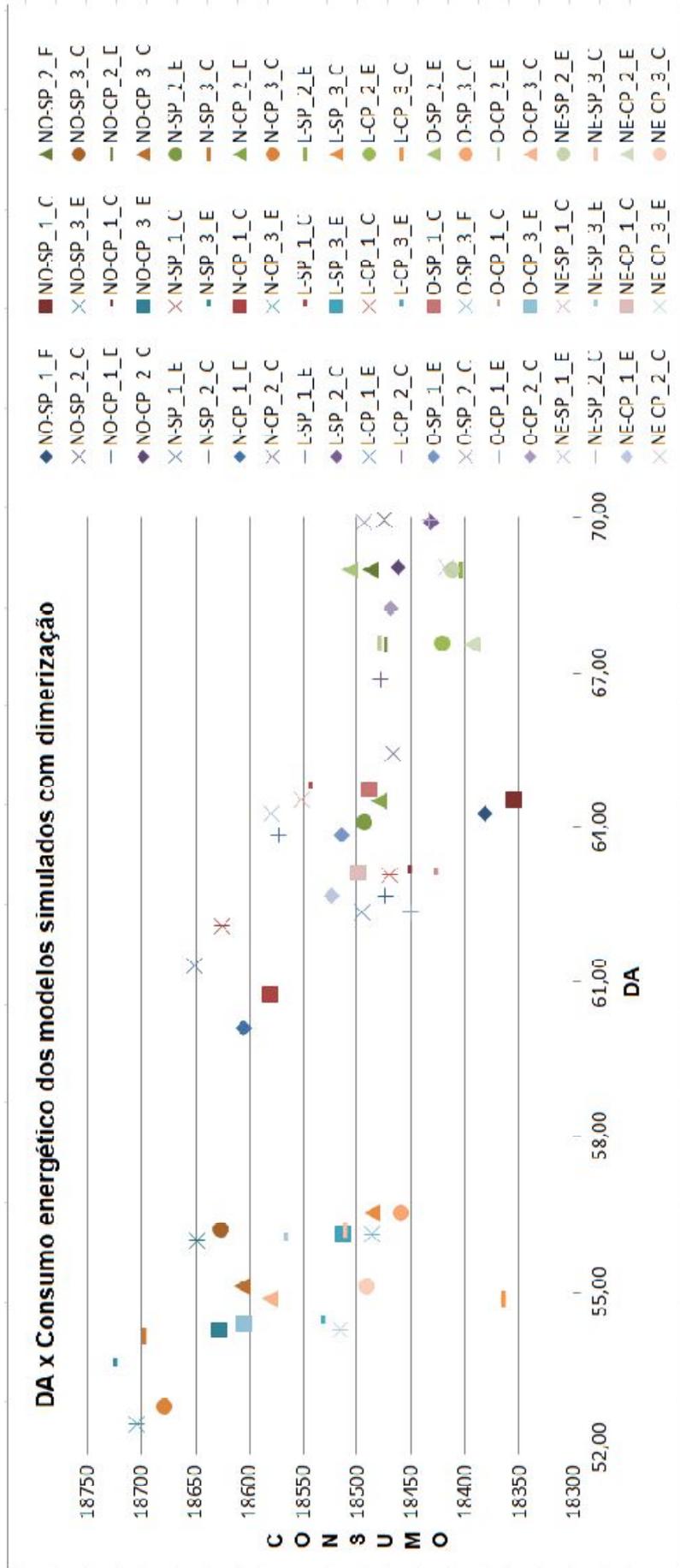


Figura 36 - DA x Consumo energético dos modelos simulados com dimerização

Fonte: Autora (2017)

Numa análise paralela do desempenho lumínico e termoenergético dos modelos estudados, considerando o sistema de iluminação artificial dimerizada, a orientação solar que apresentou o melhor desempenho termoenergético, foi a noroeste e para o desempenho lumínico, a nordeste e noroeste. Esses resultados mostraram-se similares àqueles correspondentes aos modelos avaliados sob a condição sem iluminação artificial.

Acredita-se que o melhor desempenho, que corresponde ao menor consumo, ocorreu na orientação noroeste, pois, segundo a distribuição dos consumos, o modelo apresentou maior necessidade de aquecimento do que resfriamento, e como possuía o maior percentual de aberturas voltadas a noroeste (Percentual de Abertura na Fachada - PAF= 37%), acabou possibilitando um maior ganho de calor, como consequência da temperatura sol-ar, que como conceito, considera os efeitos combinados da radiação solar e da temperatura do ar, e com isso, diminuindo o consumo para aquecimento.

O uso de prateleiras de luz, para o desempenho lumínico, diminuiu de 1 a 2% a DA. Para o desempenho termoenergético, diminuiu o consumo quando orientadas ao norte, ao leste, e ao nordeste, em até 0,7% (na orientação leste). Por outro lado, as prateleiras de luz também aumentaram o consumo na orientação oeste e noroeste, em percentual máximo de 0,7% (no oeste) em alguns modelos.

Quanto aos tipos de vidro, o melhor desempenho lumínico correspondeu ao vidro comum transparente, seguido do vidro absorvente. Para o desempenho termoenergético, os melhores resultados foram para o vidro comum (nas orientações norte, leste e nordeste) e para o vidro absorvente (nas orientações oeste e noroeste).

O uso de cores claras (reflexão de 80%) em todas as paredes internas, para o desempenho lumínico de todos os modelos em todas as orientações solares, aumentou 1% na DA e para o desempenho termoenergético, diminuiu o consumo em todas as orientações, em até 0,9% (na orientação leste). Ou seja, as cores claras melhoraram mínimamente tanto o desempenho lumínico, como o desempenho termoenergético dos modelos.

A partir destas análises, observou-se que os modelos que apresentaram melhor desempenho lumínico e termoenergético sob a condição de iluminação artificial dimerizada foram os mesmos que já haviam obtido essa avaliação na condição anterior (sem iluminação artificial): NO_SP_1_C (orientação solar

noroeste, sem prateleiras de luz, com vidro absorvente e com todas as paredes internas com cores claras); e NO_SP_1_E (orientação solar noroeste, sem prateleiras de luz, com vidro absorvente e com algumas paredes internas com cores escuras). Esses dois modelos apresentaram equilíbrio entre os valores de DA e de consumo energético.

Observa-se que, no que diz respeito ao desempenho lumínico, uma análise dinâmica que avalia o DA, não necessariamente dá conta de prover informações a respeito da qualidade da iluminação natural. Partiu-se então, para a inclusão de uma avaliação qualitativa de desempenho lumínico, através dos parâmetros uniformidade luminosa e possibilidade de ofuscamento por excesso de brilho ou luminosidade. Buscou-se também, conhecer a viabilidade econômica das características alteradas nos modelos propostos, que correspondessem ao melhor desempenho lumínico e termoenergético e que então, representariam uma melhora na qualidade do modelo, resultados estes, apresentados no próximo capítulo dessa dissertação.

4.4 Avaliação qualitativa

Apresenta-se aqui os resultados da avaliação qualitativa dos parâmetros de desempenho lumínico, uniformidade e possibilidade de ofuscamento por saturação, do modelo que apresentou o melhor desempenho lumínico e termoenergético, o NO_SP_1_C (orientação noroeste, sem prateleira de luz, vidro absorvente e cores claras), e daquele que apresentou a maior DA, o NE-NO_SP_2_C (nordeste ou noroeste, sem prateleira de luz, vidro transparente e cores claras).

O modelo proposto que apresentou o melhor desempenho dos aspectos lumínicos e termoenergéticos foi o mesmo que apresentou o menor consumo, no entanto, não foi o mesmo que apresentou o melhor desempenho lumínico, por isso, buscou-se avaliar esses dois modelos propostos.

Os resultados também contemplam dados sobre a avaliação do modelo que apresentou o melhor desempenho lumínico (maior uniformidade e menos possibilidade de ofuscamento), com o uso de prateleiras de luz, já que diversos autores (LECHNER, 2015; RAHEEM et al, 2014; IESNA, 2011; GONÇALVES et al, 2011; BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993), já anteriormente apontados, argumentam a favor do seu benefício na qualidade da iluminação.

4.4.1 Avaliação da uniformidade luminosa e do ofuscamento

Referente ao desempenho lumínico qualitativo do modelo NO_SP_1_C, observou-se que no solstício de inverno, sob a condição de céu parcialmente nublado, apenas os ambientes Chefia (pavimento térreo), Secretaria e Reuniões (pavimento superior), não apresentaram iluminâncias maiores que 2000 lux, não apresentando, portanto, risco ao ofuscamento.

No solstício de verão, sob a condição de céu parcialmente nublado, os ambientes Chefia (pavimento térreo), Secretaria, Direção e Reuniões (pavimento superior), não apresentaram iluminâncias maiores que 2000 lux.

No solstício de inverno, sob a condição de céu claro, os ambientes Secretaria e Reuniões, ambos do pavimento superior, não apresentaram iluminâncias maiores que 2000 lux.

No solstício de verão, sob a condição de céu claro, os ambientes Chefia (pavimento térreo) e Secretaria (pavimento superior), não apresentaram iluminâncias maiores que 2000 lux.

Quanto à uniformidade luminosa, observou-se que em todas as situações simuladas, os ambientes dos Salões e a Secretaria não atingiram o índice mínimo de 0,6 recomendado pela NBR 8995-1 (2013), enquanto todos os outros ambientes apresentaram valores superiores, e portanto, homogênea distribuição da luz.

As tabs. 43, 44, 45 e 46 apresentam os resultados numéricos das avaliações do modelo NO_SP_1_C, aquele que apresentou melhor desempenho lumínico e termoenergético.

Tabela 43 - Resultados numéricos do modelo NO_SP_1_C, de melhor desempenho lumínico e termoenergético, no solstício de inverno, sob condição de céu parcialmente nublado

CÉU PARCIALMENTE NUBLADO					
21/jun					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	71	391,81	1332	0,2
	CHEFIA	602	907,24	1538	0,7
SUPERIOR	SALÃO	74	692,97	2359	0,1
	SECRETARIA	29	111,58	282	0,3
	CHEFIA	355	676,62	1112	0,5
	DIREÇÃO	738	1183,83	1963	0,6
	REUNIÕES	264	424,7	647	0,6
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	94	559,03	2105	0,2
	CHEFIA	551	993,93	1725	0,6
SUPERIOR	SALÃO	78	855,95	2823	0,1
	SECRETARIA	33	148,67	369	0,2
	CHEFIA	534	1111,85	1832	0,5
	DIREÇÃO	670	1265,57	2216	0,5
	REUNIÕES	293	468,03	637	0,6
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	92	590,41	2315	0,2
	CHEFIA	360	642,94	1116	0,6
SUPERIOR	SALÃO	79	682,8	2250	0,1
	SECRETARIA	37	172,43	449	0,2
	CHEFIA	735	1400,98	2136	0,5
	DIREÇÃO	441	842,35	1400	0,5
	REUNIÕES	293	483,59	695	0,6
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	48	299,87	1105	0,2
	CHEFIA	159	275,50	449	0,6
SUPERIOR	SALÃO	33	308,14	1073	0,1
	SECRETARIA	21	114,49	311	0,2
	CHEFIA	451	752,12	1046	0,6
	DIREÇÃO	202	366,63	593	0,6
	REUNIÕES	193	315,24	454	0,6

Fonte: Autora, 2017

Tabela 44 - Resultados numéricos do modelo NO_SP_1_C, de melhor desempenho lumínico e termoenergético, no solstício de verão, sob condição de céu parcialmente nublado

CÉU PARCIALMENTE NUBLADO					
21/dez					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	41	317,58	1008	0,1
	CHEFIA	405	771,05	1452	0,5
SUPERIOR	SALÃO	66	566,16	2110	0,1
	SECRETARIA	35	147,23	359	0,2
	CHEFIA	268	564,89	966	0,5
	DIREÇÃO	675	1065,14	1703	0,6
	REUNIÕES	360	617,32	1116	0,6
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	32	182,51	579	0,2
	CHEFIA	168	278,37	510	0,6
SUPERIOR	SALÃO	38	240,11	812	0,2
	SECRETARIA	26	86,59	203	0,3
	CHEFIA	181	355,53	604	0,5
	DIREÇÃO	198	357,39	584	0,6
	REUNIÕES	160	261,52	381	0,6
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	49	337,14	1262	0,1
	CHEFIA	204	327,76	580	0,6
SUPERIOR	SALÃO	44	343,78	1280	0,1
	SECRETARIA	36	186,26	506	0,2
	CHEFIA	391	815,58	1314	0,5
	DIREÇÃO	241	434,04	661	0,6
	REUNIÕES	292	490,79	751	0,6
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	56	582,35	2106	0,1
	CHEFIA	238	398,83	705	0,6
SUPERIOR	SALÃO	55	495,46	2172	0,1
	SECRETARIA	54	382,61	1108	0,1
	CHEFIA	855	1563,92	2269	0,5
	DIREÇÃO	329	583,49	862	0,6
	REUNIÕES	616	997,2	1552	0,6

Fonte: Autora, 2017

Tabela 45 - Resultados numéricos do modelo NO_SP_1_C, de melhor desempenho lumínico e termoenergético, no solstício de inverno, sob condição de céu claro

CÉU CLARO					
21/jun					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	255	2336,08	21444	0,1
	CHEFIA	1832	14983,31	21972	0,1
SUPERIOR	SALÃO	346	6745,06	24600	0,1
	SECRETARIA	76	184,39	350	0,4
	CHEFIA	415	715,45	1042	0,6
	DIREÇÃO	2647	15880,33	22886	0,2
	REUNIÕES	395	527,2	695	0,7
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	204	2979,73	29213	0,1
	CHEFIA	1059	7501,14	28566	0,1
SUPERIOR	SALÃO	285	7240,33	30968	0,0
	SECRETARIA	77	215,32	448	0,4
	CHEFIA	995	1730,16	2997	0,6
	DIREÇÃO	1680	8351,09	29532	0,2
	REUNIÕES	470	600,44	780	0,8
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	325	4855,64	28178	0,1
	CHEFIA	436	681,74	908	0,6
SUPERIOR	SALÃO	285	5075,63	27834	0,1
	SECRETARIA	82	222,08	424	0,4
	CHEFIA	3130	18252,34	29182	0,2
	DIREÇÃO	543	895,69	1343	0,6
	REUNIÕES	431	557,81	726	0,8
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	484	5030,93	22702	0,1
	CHEFIA	240	325,65	499	0,7
SUPERIOR	SALÃO	217	2250,22	10930	0,1
	SECRETARIA	51	176,68	388	0,3
	CHEFIA	11943	12774,89	14313	0,9
	DIREÇÃO	316	447,68	627	0,7
	REUNIÕES	289	381,97	501	0,8

Fonte: Autora, 2017

Tabela 46 - Resultados numéricos do modelo NO_SP_1_C, de melhor desempenho lumínico e termoenergético, no solstício de verão, sob condição de céu claro

CÉU CLARO					
21/dez					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	117	645,13	1885	0,2
	CHEFIA	608	995,96	1673	0,6
SUPERIOR	SALÃO	176	1170,28	3596	0,2
	SECRETARIA	100	274,32	554	0,4
	CHEFIA	588	961,59	1320	0,6
	DIREÇÃO	1205	1774,86	2538	0,7
REUNIÕES	712	1027,94	1447	0,7	
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	141	840,37	2360	0,2
	CHEFIA	776	1127,41	1837	0,7
SUPERIOR	SALÃO	182	1039,88	2972	0,2
	SECRETARIA	124	385,29	803	0,3
	CHEFIA	883	1504,16	2160	0,6
	DIREÇÃO	978	1493,78	2245	0,7
REUNIÕES	810	1115,8	1472	0,7	
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	154	865,52	2773	0,2
	CHEFIA	557	758,28	1188	0,7
SUPERIOR	SALÃO	155	857,78	2530	0,2
	SECRETARIA	123	426,71	962	0,3
	CHEFIA	1023	1827,56	2660	0,6
	DIREÇÃO	627	912,83	1265	0,7
REUNIÕES	668	973,27	1380	0,7	
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	175	2280,33	31462	0,1
	CHEFIA	424	580,21	885	0,7
SUPERIOR	SALÃO	146	941,28	3271	0,2
	SECRETARIA	171	777,02	1688	0,2
	CHEFIA	1806	5386,83	32248	0,3
	DIREÇÃO	526	723,02	981	0,7
REUNIÕES	951	1464,75	2038	0,6	

Fonte: Autora, 2017

Para o modelo que apresentou a melhor DA, o modelo NE-NO_SP_2_C, observou-se que, no solstício de inverno, sob as condições de céus parcialmente nublado e claro, os ambientes Secretaria e Reuniões, ambos localizados no pavimento superior, não apresentaram iluminâncias superiores a 2000 lux, ou seja, esses ambientes não apresentaram a possibilidade de ofuscamento, enquanto todos os outros ambientes, sim.

No solstício de verão, sob a condição de céu parcialmente nublado, os ambientes Chefia (pavimento térreo), Secretaria e Reuniões (pavimento superior), não apresentaram iluminâncias maiores que 2000 lux.

No solstício de verão, sob a condição de céu claro, todos os ambientes apresentaram iluminâncias maiores que 2000 lux, significando, portanto, possibilidade de ofuscamento por saturação de iluminação.

A uniformidade luminosa no modelo NE-NO_SP_2_C, de maior DA, foi similar a do modelo de melhor desempenho lumínico e termoenergético, no entanto, notou-se que o modelo avaliado anteriormente (NO_SP_1_C) apresentou maiores períodos de uniformidade luminosa.

As tabs. 47, 48, 49 e 50 apresentam os resultados numéricos das avaliações do modelo NE-NO_SP_2_C, que apresentou o maior DA.

Tabela 47 - Resultados numéricos do modelo NE-NO_SP_2_C com maior DA, no solstício de inverno, sob condição de céu parcialmente nublado

CÉU PARCIALMENTE NUBLADO					
21/jun					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	46	463,61	1603	0,1
	CHEFIA	718	1074,25	1806	0,7
SUPERIOR	SALÃO	107	820,61	2819	0,1
	SECRETARIA	33	137,1	336	0,2
	CHEFIA	415	802,59	1308	0,5
	DIREÇÃO	861	1396,87	2331	0,6
	REUNIÕES	295	491,07	755	0,6
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	90	662,32	2469	0,1
	CHEFIA	676	1196	2134	0,6
SUPERIOR	SALÃO	92	1015,83	3494	0,1
	SECRETARIA	41	178,8	450	0,2
	CHEFIA	662	1338,3	2191	0,5
	DIREÇÃO	773	1486,76	2576	0,5
	REUNIÕES	353	569,34	778	0,6
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	91	705,9	2760	0,1
	CHEFIA	436	771,97	1281	0,6
SUPERIOR	SALÃO	80	829,02	2787	0,1
	SECRETARIA	40	204,71	538	0,2
	CHEFIA	877	1651,57	2543	0,5
	DIREÇÃO	515	1001,76	1669	0,5
	REUNIÕES	342	577,43	820	0,6
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	47	355,97	1268	0,1
	CHEFIA	189	329,30	554	0,6
SUPERIOR	SALÃO	42	367,96	1325	0,1
	SECRETARIA	28	138,25	382	0,2
	CHEFIA	533	897,48	1279	0,6
	DIREÇÃO	236	444,54	728	0,5
	REUNIÕES	229	381,06	554	0,6

Fonte: Autora, 2017

Tabela 48 - Resultados numéricos do modelo NE-NO_SP_2_C com maior DA, no solstício de verão, sob condição de céu parcialmente nublado

CÉU PARCIALMENTE NUBLADO					
21/dez					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	53	380,17	1247	0,1
	CHEFIA	488	902,34	1639	0,5
SUPERIOR	SALÃO	79	679,58	2653	0,1
	SECRETARIA	43	179,94	441	0,2
	CHEFIA	334	678,32	1116	0,5
	DIREÇÃO	824	1284,87	2047	0,6
	REUNIÕES	451	755,38	1351	0,6
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	32	219	722	0,1
	CHEFIA	208	338,95	634	0,6
SUPERIOR	SALÃO	44	287,8	1003	0,2
	SECRETARIA	33	106,87	248	0,3
	CHEFIA	204	420,88	706	0,5
	DIREÇÃO	241	432,96	695	0,6
	REUNIÕES	204	315,04	706	0,6
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	47	406,24	1506	0,1
	CHEFIA	236	392,63	707	0,6
SUPERIOR	SALÃO	54	410,74	1570	0,1
	SECRETARIA	43	219,52	618	0,2
	CHEFIA	485	986,55	1661	0,5
	DIREÇÃO	292	516,54	789	0,6
	REUNIÕES	333	588,01	907	0,6
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	74	698,09	2563	0,1
	CHEFIA	295	480,48	809	0,6
SUPERIOR	SALÃO	64	594,78	2520	0,1
	SECRETARIA	65	450,92	1373	0,1
	CHEFIA	1003	1866,27	2752	0,5
	DIREÇÃO	377	692,98	1011	0,5
	REUNIÕES	683	1186,41	1827	0,6

Fonte: Autora, 2017

Tabela 49 - Resultados numéricos do modelo NE-NO_SP_2_C com maior DA, no solstício de inverno, sob condição de céu claro

CÉU CLARO					
21/jun					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	295	2771,37	25498	0,1
	CHEFIA	2207	17709,76	25897	0,1
SUPERIOR	SALÃO	444	8003,24	29152	0,1
	SECRETARIA	93	223,65	416	0,4
	CHEFIA	520	858,99	1266	0,6
	DIREÇÃO	3206	18864,04	27165	0,2
	REUNIÕES	477	632,87	831	0,8
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	236	3604,46	35284	0,1
	CHEFIA	1246	9062,19	34520	0,1
SUPERIOR	SALÃO	368	8760,56	37434	0,0
	SECRETARIA	109	261,7	501	0,4
	CHEFIA	1141	2061,83	3431	0,6
	DIREÇÃO	2036	10106,4	35712	0,2
	REUNIÕES	549	719,8	946	0,8
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	405	5798,15	33609	0,1
	CHEFIA	510	814,65	1289	0,6
SUPERIOR	SALÃO	299	6060,74	33376	0,0
	SECRETARIA	109	269,48	525	0,4
	CHEFIA	3754	21780,87	34837	0,2
	DIREÇÃO	663	1073,79	1600	0,6
	REUNIÕES	501	663,06	882	0,8
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	542	5928,52	26896	0,1
	CHEFIA	280	389,87	593	0,7
SUPERIOR	SALÃO	262	2656,95	12829	0,1
	SECRETARIA	66	212,13	429	0,3
	CHEFIA	13850	15052,54	16898	0,9
	DIREÇÃO	363	526,8	735	0,7
	REUNIÕES	347	459,77	605	0,8

Fonte: Autora, 2017

Tabela 50 - Resultados numéricos do modelo NE-NO_SP_2_C com maior DA, no solstício de verão, sob condição de céu claro

CÉU CLARO					
21/dez					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	137	774,67	2224	0,2
	CHEFIA	721	1201,28	2064	0,6
SUPERIOR	SALÃO	201	1429,81	4408	0,1
	SECRETARIA	130	331,66	669	0,4
	CHEFIA	710	1161,12	1611	0,6
	DIREÇÃO	1472	2173,15	3049	0,7
	REUNIÕES	857	1249,14	1682	0,7
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	165	1000,23	2874	0,2
	CHEFIA	956	1357,07	2228	0,7
SUPERIOR	SALÃO	189	1257,61	3776	0,2
	SECRETARIA	158	462,02	959	0,3
	CHEFIA	1039	1786,94	2625	0,6
	DIREÇÃO	1188	1804,84	2682	0,7
	REUNIÕES	951	1333,35	1774	0,7
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	166	1041,22	3398	0,2
	CHEFIA	656	924,28	1468	0,7
SUPERIOR	SALÃO	173	1037,66	3119	0,2
	SECRETARIA	144	518,34	1213	0,3
	CHEFIA	1221	2193,97	3225	0,6
	DIREÇÃO	739	1094,48	1542	0,7
	REUNIÕES	820	1173,47	1678	0,7
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	205	2759,87	38114	0,1
	CHEFIA	506	703,75	1081	0,7
SUPERIOR	SALÃO	196	1140,04	3923	0,2
	SECRETARIA	210	937,53	2391	0,2
	CHEFIA	2168	6511,4	39144	0,3
	DIREÇÃO	612	860,23	1178	0,7
	REUNIÕES	1160	1774,91	2447	0,7

Fonte: Autora, 2017

Em suma, o modelo com melhor desempenho lumínico e termoenergético, o NO_SP_1_C, apresentou menor possibilidade de ofuscamento e uma mínima superioridade quanto a uniformidade luminosa, quando comparado com o modelo de maior DA, o modelo NE-NO_SP_2_C.

A diferença entre os dois modelos foi o tipo de vidro usado nas aberturas. Parece lógico que o modelo que continha vidro absorvente reduzisse a possibilidade de ofuscamento quando comparado com o modelo com vidro comum, já que o segundo apresenta maior transmissividade luminosa.

Com base nesses resultados, avaliou-se o modelo NO_SP_1_C com o uso de prateleiras de luz (NO_CP_1_C) e observou-se que, nos solstícios de inverno e de verão, sob a condição de céu parcialmente nublado, ocorreu menor possibilidade de ofuscamento nos ambientes, quando os resultados foram comparados com os do modelo NO_SP_1_C. Sob a condição de céu claro, os ambientes com possibilidade de ofuscamento permaneceram os mesmos, porém, em um número inferior de horários passíveis de ocorrência.

A uniformidade luminosa do modelo proposto NO_CP_1_C, com prateleiras de luz, permaneceu a mesma que o modelo sem prateleira de luz, nos solstícios de inverno e de verão, sob condição de céu claro. Já sob condição de céu parcialmente nublado, o ambiente Chefia, que no modelo sem prateleiras de luz apresentava uniformidade luminosa em todos os horários, não mais a apresentou, no modelo com prateleiras de luz.

Esses resultados, relativos às condições de contorno desse trabalho de pesquisa, não foram ao encontro das afirmações da literatura que apontam uma maior qualidade na distribuição espacial da luz com o uso das prateleiras de luz (LECHNER, 2015; RAHEEM et al, 2014; IESNA, 2011; GONÇALVES et al, 2011; BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993). Por outro lado, vão de encontro no que diz respeito a redução do risco de ofuscamento, pois houve uma pequena redução de possibilidade de ofuscamento no modelo com prateleiras de luz.

As tabs. 51, 52, 53 e 54 apresentam os resultados numéricos das avaliações do modelo NO_CP_1_C, proposto com o uso de prateleiras de luz.

Tabela 51 - Resultados numéricos do modelo NO_CP_1_C, com prateleiras de luz, no solstício de inverno, sob condição de céu parcialmente nublado

CÉU PARCIALMENTE NUBLADO					
21/jun					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	51	375,25	1201	0,14
	CHEFIA	571	890,23	1507	0,64
SUPERIOR	SALÃO	74	608,54	1866	0,12
	SECRETARIA	28	109,13	285	0,26
	CHEFIA	346	678,9	1126	0,51
	DIREÇÃO	760	1188,39	1985	0,64
	REUNIÕES	249	417,56	593	0,60
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	67	528,81	1751	0,13
	CHEFIA	526	983,80	1786	0,53
SUPERIOR	SALÃO	73	736,25	2309	0,10
	SECRETARIA	34	144,13	378	0,24
	CHEFIA	567	1114,71	1789	0,51
	DIREÇÃO	641	1249,39	2146	0,51
	REUNIÕES	292	482,85	666	0,60
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	81	549,24	1924	0,15
	CHEFIA	353	656,75	1137	0,54
SUPERIOR	SALÃO	89	595,52	1913	0,15
	SECRETARIA	38	171,46	487	0,22
	CHEFIA	772	1411,15	2169	0,55
	DIREÇÃO	445	829,07	1400	0,54
	REUNIÕES	306	487,49	674	0,63
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	42	289,18	940	0,15
	CHEFIA	161	271,57	467	0,59
SUPERIOR	SALÃO	34	266,91	840	0,13
	SECRETARIA	20	112,78	313	0,18
	CHEFIA	440	753,86	1075	0,58
	DIREÇÃO	205	373,04	600	0,55
	REUNIÕES	200	318,43	460	0,63

Fonte: Autora, 2017

Tabela 52 - Resultados numéricos do modelo NO_CP_1_C, com prateleiras de luz, no solstício de verão, sob condição de céu parcialmente nublado

CÉU PARCIALMENTE NUBLADO					
21/dez					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	40	307,64	949	0,13
	CHEFIA	404	754,72	1420	0,54
SUPERIOR	SALÃO	58	496,9	1832	0,12
	SECRETARIA	36	143,56	353	0,25
	CHEFIA	271	568,3	934	0,48
	DIREÇÃO	700	1066,19	1700	0,66
REUNIÕES	382	628,85	1138	0,61	
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	29	175,42	542	0,17
	CHEFIA	173	280,34	523	0,62
SUPERIOR	SALÃO	33	216,43	710	0,15
	SECRETARIA	25	85,51	205	0,29
	CHEFIA	178	353,97	594	0,50
	DIREÇÃO	201	357,51	566	0,56
REUNIÕES	159	260,74	380	0,61	
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	49	327,26	1129	0,15
	CHEFIA	233	330,00	588	0,71
SUPERIOR	SALÃO	39	306,59	1101	0,13
	SECRETARIA	33	182,2	515	0,18
	CHEFIA	406	821,02	1295	0,49
	DIREÇÃO	243	429,15	662	0,57
REUNIÕES	305	486,77	742	0,63	
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDADE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	71	558,44	1889	0,13
	CHEFIA	252	405,32	684	0,62
SUPERIOR	SALÃO	54	431,04	1807	0,13
	SECRETARIA	58	376,59	1118	0,15
	CHEFIA	846	1543,11	2211	0,55
	DIREÇÃO	329	579,92	856	0,57
REUNIÕES	581	984,68	1512	0,59	

Fonte: Autora, 2017

Tabela 53 - Resultados numéricos do modelo NO_CP_1_C, com prateleiras de luz, no solstício de inverno, sob condição de céu claro

CÉU CLARO					
21/jun					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	241	2330,25	21595	0,10
	CHEFIA	1840	14969,45	21903	0,12
SUPERIOR	SALÃO	314	6516,54	24072	0,05
	SECRETARIA	73	176,31	349	0,41
	CHEFIA	438	724,01	1047	0,60
	DIREÇÃO	2549	15920,6	22919	0,16
	REUNIÕES	417	531,19	691	0,79
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	173	2894,16	29177	0,06
	CHEFIA	1077	7493,78	28518	0,14
SUPERIOR	SALÃO	241	6946,04	30373	0,03
	SECRETARIA	79	211,06	421	0,37
	CHEFIA	965	1721,85	2899	0,56
	DIREÇÃO	1658	8361,08	29634	0,20
	REUNIÕES	465	598,64	781	0,78
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	305	3380,59	27664	0,09
	CHEFIA	422	678,34	1059	0,62
SUPERIOR	SALÃO	249	3162,96	26790	0,08
	SECRETARIA	80	216,5	425	0,37
	CHEFIA	3131	18245,3	29177	0,17
	DIREÇÃO	540	869,27	1310	0,62
	REUNIÕES	430	558,56	726	0,77
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	459	4948,16	22775	0,09
	CHEFIA	236	321,51	484	0,73
SUPERIOR	SALÃO	220	2199,66	10834	0,10
	SECRETARIA	56	170,77	371	0,33
	CHEFIA	11893	12771,45	14331	0,93
	DIREÇÃO	312	438,96	607	0,71
	REUNIÕES	288	388,65	499	0,74

Fonte: Autora, 2017

Tabela 54 - Resultados numéricos do modelo NO_CP_1_C, com prateleiras de luz, no solstício de verão, sob condição de céu claro

CÉU CLARO					
21/dez					
10:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	122	626,28	1768	0,19
	CHEFIA	614	993,42	1669	0,62
SUPERIOR	SALÃO	154	1095,1	3416	0,14
	SECRETARIA	102	264,54	540	0,39
	CHEFIA	595	966,11	1313	0,62
	DIREÇÃO	1199	1783,42	2468	0,67
	REUNIÕES	695	1037,79	1450	0,67
12:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	166	867,26	2724	0,19
	CHEFIA	787	1129,25	1836	0,70
SUPERIOR	SALÃO	169	1152,02	3400	0,15
	SECRETARIA	123	376,47	810	0,33
	CHEFIA	887	1506,06	2182	0,59
	DIREÇÃO	1008	1508,24	2222	0,67
	REUNIÕES	817	1118,46	1502	0,73
14:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	146	859,8	2785	0,17
	CHEFIA	555	764,61	1186	0,73
SUPERIOR	SALÃO	146	809,8	2630	0,18
	SECRETARIA	114	415,59	943	0,27
	CHEFIA	1023	1815,51	2689	0,56
	DIREÇÃO	626	911,65	1278	0,69
	REUNIÕES	685	971,48	1365	0,71
16:00					
PAVIMENTO	AMBIENTE	ILUMINÂNCIA MÍNIMA (lux)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	ILUMINÂNCIA MÁXIMA (lux)	UNIFORMIDA DE LUMINOSA
TÉRREO	SALÃO	159	2229,31	31451	0,07
	CHEFIA	425	580,73	895	0,73
SUPERIOR	SALÃO	142	847,52	2879	0,17
	SECRETARIA	173	751,09	1893	0,23
	CHEFIA	1791	5393,78	32434	0,33
	DIREÇÃO	514	721,57	997	0,71
	REUNIÕES	945	1474,86	2024	0,64

Fonte: Autora, 2017

Note-se que todos os ambientes que atingiram uma boa uniformidade luminosa apresentam tamanhos pequenos, retangulares, com abertura maior na parede mais larga do ambiente e a maioria com duas janelas opostas, conforme Fig. 37.

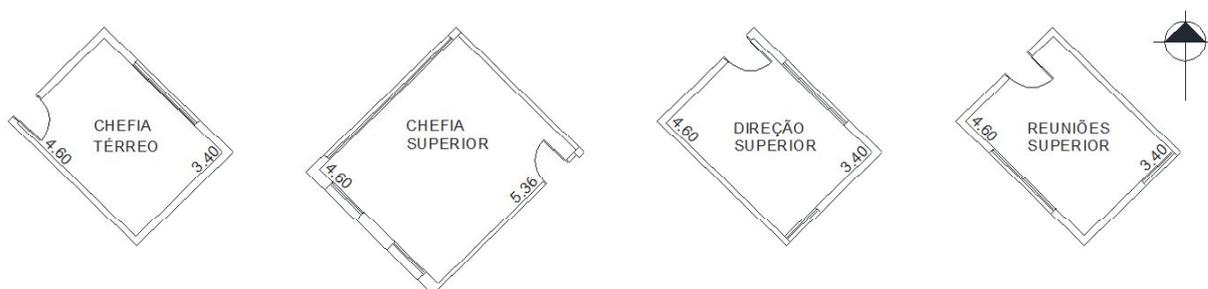


Figura 37 - Ambientes com boa uniformidade luminosa

Fonte: Autora, 2017

Observou-se também, que os Salões e a Secretaria, que são ambientes muito profundos, não conseguiram alcançar a uniformidade luminosa.

O ambiente Secretaria não recebe radiação solar direta e a Sala de Reuniões recebe sol apenas pela manhã, reduzindo por tanto, a possibilidade de ofuscamento quando se observam dados de um período diurno.

4.5 Avaliação econômica

Os resultados da avaliação econômica, baseada no cálculo de *payback* simples, são aqui apresentados.

Verificou-se a economia de energia (kWh/ano) obtida nos modelos propostos que apresentaram: i) o melhor desempenho lumínico e termoenergético, de forma paralela, (NO_SP_1_C) e; ii) a melhor DA (NE-NO_SP_2_C), e fez-se uma comparação das intervenções propostas (características construtivas e implantação do sistema de dimerização) sobre o modelo padrão, através do custo do kWh para aferir monetariamente a economia obtida (tab. 55).

A orientação solar, sendo uma decisão importante e fundamental no desempenho lumínico e termoenergético de uma edificação, tomada no início do projeto, não apresenta nenhum custo. Para esta avaliação, o consumo dos modelos de melhor desempenho foi comparado com os dos modelos que

apresentaram os mais altos consumos, para que se conhecesse o máximo de economia que se poderia alcançar na escolha da orientação solar adequada.

Os dois modelos que apresentaram os melhores desempenhos não apresentavam prateleiras de luz, tal qual o modelo padrão, portanto não houve economia nem custo relacionado a esta característica construtiva.

O vidro absorvente, que resultou em modelos com melhor desempenho, já era o vidro utilizado no modelo padrão e por isso, não causou nenhum efeito econômico nessa avaliação; e o vidro comum, reduziu o custo em relação ao modelo padrão que previamente adotou o vidro absorvente.

A pintura de diferentes cores, para obras públicas, não interfere no valor desembolsado pelas instituições, pois, como regra geral, o preço de referência é baseado nos custos do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), o qual não difere preços em função do tipo de cor.

Tabela 55 - Verificação da economia ou gasto de energia obtida pelas intervenções propostas sobre o modelo padrão

Modelos	Intervenções Propostas	Economia(+) ou Gasto(-) (kWh/ano)	Valor do kWh	Economia(+) ou Gasto(-) (R\$/ano)
NO_SO_1_C	Orientação solar	269,11	0,370642	99,74
	Prateleira de Luz	0	0,370642	0,00
	Vidro absorvente	0	0,370642	0,00
	Pintura interna	25,81	0,370642	9,57
	Sistema de iluminação artificial com dimerização	5439,05	0,370642	2015,94
NE- NO-SP_2_C	Orientação solar	59,89	0,370642	22,20
	Prateleira de Luz	0	0,370642	0
	Vidro comum	117,91	0,370642	43,70
	Pintura interna	-20,75	0,370642	-7,69
	Sistema de iluminação artificial com dimerização	5521,06	0,370642	2046,34

Fonte: Autora, 2017

Em posse dos números referentes à economia de energia, foram verificados os valores que deveriam ser investidos para implantação das intervenções propostas, condizente com o melhor desempenho sob a ótica de uma condição real de uso de um prédio administrativo.

As características construtivas avaliadas não apresentam custos para serem implantadas. Portanto, foi verificado apenas os valores que deveriam ser investidos para implantação do sistema de dimerização.

Por se tratar de obra pública, os custos aqui apresentados foram definidos através da base do SINAPI e cotações de mercado.

Após definir o custo do investimento, conhecendo-se a economia gerada pelo sistema de iluminação artificial com dimerização, foi definido o *payback* simples (tab. 56).

Tabela 56 - Cálculo do Payback simples

Modelos	Intervenções Propostas	Investimento (R\$)	Economia gerada (R\$)	Vida útil (anos)	Payback simples (anos)
NO_SO_1_C	Sistema de iluminação artificial	2204,28	2015,94	20	1,09
NE-NO_SP_2_C	com dimerização	2204,28	2046,34	20	1,08

Fonte: Autora, 2017

Em suma, a intervenção de maior relevância na avaliação econômica foi o sistema de iluminação artificial com dimerização, como estratégia para melhorar o consumo do prédio. A dimerização apresentou uma notável redução de aproximadamente 5.500 kWh/ano em ambos os modelos, portanto, a avaliação econômica reforçou a viabilidade da dimerização, demonstrando o tempo de retorno do investimento imediato em um ano.

Numa outra avaliação, a partir da posse dos valores atuais de kWh, observou-se que as características construtivas propostas apresentaram uma maior relevância no aspecto lumínico, no qual chegou-se a alcançar quase 2 meses de DA, do que no aspecto termoenergético, onde o melhor desempenho, se comparado com o pior desempenho, apresentou uma economia de no máximo 368,50 kWh/ano, ou seja, R\$136,58, conforme exemplo na tab. 57, na situação sem iluminação artificial.

Tabela 57 - Exemplo do consumo total do melhor desempenho e do pior desempenho dos modelos na situação sem iluminação artificial

Situação	Consumo Total	Economia (kWh/ano)	Valor do kWh	Economia (R\$)	Desempenho	Modelo
Com iluminação artificial	18356,11	368,5	0,370642	136,58	Melhor	NO_SP_1_C
	18724,61				Pior	N_SP_3_E

Fonte: Autora (2017)

5 CONCLUSÕES

5.1 Aspectos gerais

O trabalho apresentado avaliou o desempenho lumínico e termoenergético de um modelo de prédio administrativo, reforçando a importância de projetos que considerem esses dois aspectos, de forma paralela. Além disso, o estudo demonstrou a importância de algumas estratégias que melhoram o desempenho lumínico e termoenergético concomitantemente.

Quanto ao desempenho lumínico, os resultados retratados possibilitaram concluir que o modelo de prédio administrativo avaliado apresentou autonomia de iluminação natural (DA), com percentuais que variaram de 56 a 64% no seu horário de funcionamento (08:00-18:00). Os modelos propostos chegaram a apresentar 69% de DA, incrementando o desempenho lumínico do modelo padrão. Segundo a IESNA LM83-12, percentuais de DA $\geq 55\%$ são considerados “aceitos” pela maioria de usuários dos edifícios de escritórios, e DA $\geq 75\%$ são considerados “preferidos”, colocando o modelo padrão num patamar aceitável de desempenho lumínico.

Buscando-se melhor desempenho lumínico, foram propostas modificações sobre o modelo padrão: orientação solar, prateleiras de luz, tipo de vidro e cores claras.

Concluiu-se que a orientação solar é um parâmetro fundamental no desempenho lumínico e termoenergético das edificações; e para os modelos e condições de contorno deste trabalho de dissertação, promovendo diferenças de até 8,37% de autonomia de iluminação natural (DA), período de mais de 1 mês no horário de funcionamento do prédio, entre o melhor e o pior desempenho.

A adequada orientação solar chegou a economizar 2% no consumo total do modelo de prédio administrativo, o que não representa um valor significativo, reforçando-se que, para o desempenho termoenergético, foram simulados modelos com as orientações de melhores desempenhos lumínicos. Assim, quanto ao consumo, se houvessem sido considerados modelos orientados ao sul, sudeste e sudoeste, provavelmente resultariam em maior percentual de economia.

Outra alternativa avaliada, buscando suprir a necessidade de uma maior penetração da luz natural no fundo de alguns ambientes e, da mesma forma, melhorar o desempenho termoenergético da edificação, foi o uso de prateleiras de luz, estratégia que não modificou significativamente nem a autonomia de iluminação natural (DA) nem impactou no consumo dos modelos.

O uso das prateleiras de luz diminuiu a uniformidade luminosa e reduziu minimamente a possibilidade de ofuscamento por saturação. Numa análise conjunta desses efeitos, no total de horas avaliadas, as prateleiras de luz causaram pior distribuição luminosa do que melhor redução da possibilidade de ofuscamento.

Essa conclusão mostra-se contrária às afirmações de diversos autores (LECHNER, 2015; RAHEEM et al, 2014; IESNA, 2011; GONÇALVES et al, 2011; BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993), que aconselham o uso de prateleiras de luz, por proporcionarem benefícios na qualidade da iluminação natural, além de diminuírem o consumo do prédio, em determinadas orientações.

O vidro foi uma das características propostas que causou impacto no equilíbrio entre o desempenho lumínico e termoenergético dos modelos. Entre os três tipos de vidros avaliados (o comum, o absorvente e o low-e), o vidro absorvente promoveu, para o desempenho lumínico, o menor risco ao ofuscamento e a maior uniformidade luminosa. Para o desempenho termoenergético, o vidro absorvente também foi responsável pelo menor consumo, tanto na condição de avaliação sem iluminação artificial, ou seja, considerando exclusivamente a iluminação natural, como na condição de complementação do sistema com controladores dimerizáveis.

Quanto às cores, concluiu-se que de fato, as cores claras (reflexão 80%) melhoraram mínimamente o desempenho lumínico e termo-energético dos modelos, no entanto, a melhor estratégia para este estudo de caso seria substituir as cores escuras que encontram-se nas paredes mais profundas do ambiente, aonde a luz já não penetra tanto, por cores claras.

Para o modelo de prédio administrativo estudado, concluiu-se que, o desempenho lumínico teve uma maior relevância do que o desempenho termoenergético, pois permitiu, através da adoção de algumas acertadas estratégias, diferenças de até quase dois meses de autonomia de iluminação natural, enquanto que no desempenho termoenergético, alcançou no máximo uma economia de 368,50 kWh/ano, ou seja, R\$136,58, entre modelos com o maior e o menor consumo.

O maior consumo dos modelos referiram-se aos equipamentos (51 a 81%), seguidos pela iluminação artificial (18 a 37%), e por último pelo consumo com o condicionamento do ar, com percentuais que variaram de 7 a 19% para aquecimento e de 2 a 5% para resfriamento. Chama-se a atenção para a importância do aproveitamento da luz natural no desempenho termoenergético das edificações, que nesse estudo de caso, reduziu em até 36% o consumo total do modelo de prédio estudado, na condição de autonomia de iluminação natural, nos horários de funcionamento do mesmo; a redução no consumo foi de 23% com o sistema de iluminação dimerizável.

Concluiu-se que é necessário para o bom desempenho lumínico e termoenergético das edificações a adoção de um sistema de iluminação artificial com dimerização, que no presente estudo de caso, apresentou viabilidade econômica, já que possibilita o tempo de retorno do investimento imediato em um ano.

Este trabalho de dissertação cumpriu com o seu objetivo de avaliar o desempenho lumínico e termoenergético dos ambientes administrativos de uma instituição pública, e propôs estratégias que potencializaram o aproveitamento da iluminação natural com um bom desempenho termoenergético dos ambientes administrativos, para que projetos futuros, tanto de edificações novas como de retrofit, possam contar com referências e parâmetros validados.

5.2 Modelo de prédio padrão da FURG

A principal contribuição desta dissertação para o modelo de prédio administrativo adotado pela Universidade Federal de Rio Grande potencializar o aproveitamento da iluminação natural, reduzir o consumo energético e portanto, melhorar o seu desempenho termoenergético, são a seguir sintetizadas:

- i) orientar o modelo, preferencialmente, para noroeste, seguido das orientações nordeste e norte;
- ii) manter como uso padrão, o vidro absorvente, que apresentou um bom resultado tanto no desempenho lumínico como no termoenergético;
- iii) substituir as paredes de cores escuras (reflexão de 15%) por cores claras (reflexão de 80%);

- iv) implantar um sistema de iluminação artificial com dimerização, economizando assim, 23% do consumo, se comparado com o sistema padrão utilizado atualmente.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se para trabalhos futuros:

- i) a avaliação dinâmica de outras estratégias que possam melhorar o aproveitamento da iluminação natural e o desempenho termoenergético das edificações, como por exemplo, os dispositivos de controles móveis, como cortinas, persianas, que são comumente usadas para ajustar a quantidade de luz natural que entra nos espaços internos e reduz a luminosidade da janela para controlar o brilho;
- ii) estudos aprofundados sobre a possibilidade de ofuscamento em ambientes com grandes aberturas;
- iii) estudos integrados entre as métricas luminosas, as termo-energéticas e a percepção e o comportamento dos usuários dos edifícios públicos administrativos.

Referências

- ASHRAE. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2014. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/>> Acesso em: 12 ago. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215. Iluminação Natural – Partes 1, 2, 3, 4. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220. Desempenho térmico de edificações - Partes 1, 2, 3, 4, 5. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Partes 1 e 2. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8995-1. Iluminação de Ambientes de Trabalho - Parte 1. Rio de Janeiro, 2013.
- AMORIM, Cláudia. **Iluminação Natural e Eficiência Energética - Parte I**. Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/105536284/Iluminacao-natural-e-eficiencia-energetica>> Acesso em: 05 maio 2016.
- AMORIM, Cláudia; SUDBRACK, Larissa Olivier; FERNANDES, Júlia Teixeira; CINTRA, Milena Sampaio. **Influência do tipo de vidro na eficiência energética da envoltória**. Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.quali-a.com/wp-content/uploads/2014/04/FERNANDES_CINTRA_Influencia_do_tipo_de_vidro_na_eficiencia_energetica_da_envoltoria.pdf> Acesso em: 30 setembro 2016.
- BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture: A European Reference Book**. London: James and James Editors, 1993.
- BRASIL. Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C**. PBEedifica. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf> Acesso em: 15 nov. 2015.
- CARGNELUTTI, Matheus. **Avaliação do desempenho de iluminação natural no protótipo de casa popular eficiente da UFSM**. 2016. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- CARTANA, Rafael Prado; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay; BERTÉ, Eduardo João. **Avaliação de desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar projetados através de modelagem paramétrica**. In: XVI ENTAC, São Paulo, 2016.

CARVALHO, Juliana Portela Vilar de. **Simulação de desempenho lumínico para salas de aula em Natal - RN**. 2014. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

DIAS, Amanda Fontes Aragão. **Análise do uso da luz natural em salas de aula: estudo de caso em Aracaju - SE**. 2011. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

DIDONÉ, E. L.; BITTENCOURT, L. S. **Avaliação do desempenho de diferentes configurações de protetores solares na iluminação natural de salas de aula**. In: ENTAC, Florianópolis, 2006.

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

DIVA FOR RHINO. Disponível em: <www.diva4rhino.com> Acesso em: 23 nov. 2017.

ELETROBRÁS. **Caderno de boas práticas em arquitetura: eficiência energética nas edificações: Edificações Administrativas**. IAB, Departamento do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

FASI, Mohammed Abdul; BUDAIWI, Ismail Mohammad. Journal Elsevier. **Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates**. Intellectual Property Management Executive, Innovation Center, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia. Energy and Buildings, 108 (2015), p. 307–316.

FATHONI, Andhy Muhammad; CHAIWIWATWORAKUL, Pipat; METTANANT, Vichuda. Journal Elsevier. **Energy analysis of the daylighting from a double-pane glazed window with enclosed horizontal slats in the tropics**. The Joint Graduate School of Energy and Environment, CHE Center for Energy Technology and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand. Energy and Buildings, 128 (2016), p. 413–430.

GONÇALVES, Joana Carla; VIANNA, Nelson Solano; MOURA, Norberto. **Iluminação Natural e Artificial**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2011.

HASHEMI, Arman. Journal Elsevier. **Daylighting and solar shading performances of an innovative automated reflective louvre system**. The Bartlett School of Architecture, University College London, London. Energy and Buildings, 82 (2014), p. 607–620.

HUANG, Li; ZHU, Yingxin; OUYANG, Qin; CAO, Bin. Journal Elsevier. **A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices**. Department of Building Science, Tsinghua University, China. Building and Environment, 49 (2012), p. 304-309.

HUANG, Yu; NIU, Jian-lei. Journal Elsevier. **Energy and visual performance of the silica aerogel glazing system in commercial buildings of Hong Kong.**

Department of Building Service Engineering, Faculty of Construction and Environment, The Hong Kong Polytechnic University. Construction and Building Materials, 94 (2015), p. 57–72.

FUNDAÇÃO VANZOLINI, Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental do Edifício – Edifícios Não Residenciais. Disponível em:

<http://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2015/11/RT_AQUA-HQE-Edifícios_nao-residenciais-2016-04.pdf> Acesso em: 22 nov. 2017

IESNA. **IES LM 83-12: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE).** New York, 2012.

IESNA. **Lighting Handbook.** 10 ed. Illuminating Engineering Society of North America, 2011.

FREEWAN, Ahmed A.Y. Journal Elsevier. **Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions.** Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan. Solar Energy, 102 (2014), p. 14–30.

JACOBS, A. **Radiance Tutorial**, 2012. p. 8. Disponível em:

<http://www.jaloxa.eu/resources/radiance/documentation/docs/radiance_tutorial.pdf> Acesso em: 04 set. 2017

LABEEE. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>> Acesso em: 04 abril 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3ª edição. Florianópolis: LABEEE, 2014. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

LAMBERTS, Roberto; MILBRATZ, Juliana Helena. **Construção, conforto ambiental e uso racional de energia e água.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_ic/IC_Juliana_Helena_Mibratz.pdf> Acesso em: 30 jul. 2016.

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

LECHNER, Norbert. **Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects.** 4.ed. New Jersey: Wiley, 2015.

LIMA, Kamila Mendonça de; BITTENCOURT, Leonardo Salazar. **Efeito do espaçamento, inclinação e refletância de brises horizontais com mesma**

máscara de sombra na iluminação natural e ganhos térmicos em escritórios em Maceió - AL. In: XIV ENTAC, Juiz de Fora, 2012.

MASCARÓ, L. E. R. **Luz, clima e arquitetura.** 5ª ed. São Paulo: Nobel, 1990.

MIZGIER, Martin Ordenes. **Etiquetagem de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** Apresentação. Curso Eletrobrás. Rio de Janeiro: Out. 2010.

MORAES, L. N.; PEREIRA, F. O. R. **Desenvolvimento de um método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da luz natural e sua influência sobre a eficiência energética.** In: III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, cidade e projeto: uma construção coletiva. São Paulo, 2014.

MORETTI, Elisa; ZINZ, Michele; BELLONI, Elisa. Journal Elsevier. **Polycarbonate panels for buildings: Experimental investigation of thermal and optical performance.** Department of Industrial Engineering, University of Perugia, Italy. Energy and Buildings, 70 (2014), p. 23–35.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. **Useful daylight illuminance:** a replacement for daylight factors. Energy and Buildings, v.38, n.7, p.905-913, 2006.

PAPST, Ana Lúgia; GHISI, Eneidir; COLLE, Fabrício; ABREU, Samuel Luna; GOULART, Solange; BORGES, Thomaz. **Eficiência energética e uso racional de energia na edificação.** LABSOLAR. Florianópolis, 2005.

PHILLIPS, Derek. **Daylighting: Natural Light in Architecture.** Burlington: Elsevier, 2004.

QUEIROZ, Juliana; THIEME, Camila. **Edifício comercial: uso de proteção solar na avaliação da iluminação e refrigeração através de simulação.** In: XVI ENTAC, São Paulo, 2016.

MELO, Ana Paula; WESTPHAL, Fernando Simon; MATOS, Michele. **Apostila do curso básico do programa EnergyPlus.** Florianópolis: LABEEE, 2009.

RAHEEM, Adeeba A.; ISSA, Raja R.A.; OLBINA, Svetlana. **Impacts of Different Window-Shading Assemblies on Energy, Thermal Comfort and Daylighting for a South Facing Mid-Rise Office Building in Florida.** In: Computing in Civil and Building Engineering, Asce. 2014.

RAMOS, G.; GHISI, E. **Analysis of daylight calculated using the EnergyPlus programme.** In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010.

REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, John; ROGERS, Zack. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, v.3, v.1, p.7-31, 2006.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylight spaces. **Building and environment**, v. 46, n. 2, p. 386-396, 2011.

ROCHA, Ana Paula de Almeida; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Avaliação do consumo de energia de edificações considerando a luz natural e sistemas de controle através de simulação computacional integrada**. In: XI ENCAC, VII ELACAC, Búzios, 2011.

SCARAZZATO, P. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. **Iluminação natural em estabelecimentos comerciais e de serviços - mitos e verdades**. In: NUTAU, 9., 2002, São Paulo. p.716-720.

SCOPEL, Vanessa Guerini. **Percepção do ambiente e a influência das decisões arquitetônicas em espaços de trabalho**. USJT, 2015. Disponível em: <<http://www.usjt.br/arq.urb/numero-13/9-vanessa-scopel.pdf>> Acesso em: 23 out. 2016

SERRA, Geraldo G. **Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo**: guia prático para o trabalho de pesquisadores em pós-graduação. São Paulo: Edusp, Mandarim, 2006.

SILVA, A. C. J. **Avaliação do desempenho termo-lumínico de uma edificação com brises soleils**: estudo de caso. 2011. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso.

SILVA, Ana Paula Ferreira da. **A Cor no Conforto Ambiental**: Um estudo sobre a importância da cor na obtenção do conforto ambiental. 1995. Dissertação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, Viviane de Souza Cruz e. **A influência dos protetores solares no comportamento da luz natural em edifícios de escritórios**. 2011. Dissertação (Programa de Pesquisa e Pós Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo), Universidade de Brasília, Brasília.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Window and Daylighting**. Building Technology & Urban Systems Division. Lawrence Berkeley National Laboratory. University of California. Disponível em: <<https://windows.lbl.gov/software/window>> Acesso em: 08 nov. 2017.

VETTORAZZI, Egon; SACHT, Helenice M.; LANGNER, Marcelo; CAMACHO, Darwin J. **Proposta de um dispositivo para aumentar o desempenho de janelas e fachadas em termos de ventilação natural e auxiliar no controle da radiação solar direta**. In: XVI ENTAC, São Paulo, 2016.

VLACHOKOSTAS, A.; MADAMOPOULOS, N. Journal Optics Express. **Liquid filled prismatic louver façade for enhanced daylighting in high-rise commercial buildings**. Department of Electrical Engineering, The City College of City University of New York. Vol. 23, 2015.

WEISS, T.; TAMURA, C.; KRÜGER, E. L. **Uso de simulação computacional como suporte a um estudo de iluminação natural em câmara climática.** In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, ENCAC/ELACAC 2015. Campinas, 2015.

Apêndices

APÊNDICE A - Análise dos modelos sem iluminação artificial por orientação solar

Modelos orientados ao norte

A tab. 01 apresenta os dados de consumo resultantes dos processos de simulação nos modelos orientados ao norte.

Tabela 01 - Consumo na orientação norte, sem iluminação artificial

SEM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL						
ORIENTAÇÃO	CASOS	HEATING	COOLING	ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	EQUIPAMENTOS	TOTAL (KWh)
NORTE	N_SP_1_E	2543,46	632,72	0	12181,67	15357,85
	N_SP_1_C	2563,63	612,68	0	12181,67	15357,98
	N_SP_2_E	2733,75	427,39	0	12181,67	15342,81
	N_SP_2_C	2771,92	401,91	0	12181,67	15355,50
	N_SP_3_E	2728,42	387,64	0	12181,67	15297,73
	N_SP_3_C	2740,18	380,08	0	12181,67	15301,93
	N_CP_1_E	2601,75	547,75	0	12181,67	15331,17
	N_CP_1_C	2620,82	531,29	0	12181,67	15333,78
	N_CP_2_E	2778,31	385,89	0	12181,67	15345,87
	N_CP_2_C	2814,01	365,19	0	12181,67	15360,87
	N_CP_3_E	2770,98	344,46	0	12181,67	15297,11
	N_CP_3_C	2781,95	338,52	0	12181,67	15302,14

Fonte: Autora, 2017

No que diz respeito às características construtivas alteradas, verificou-se que o uso ou não de prateleiras de luz, não interfere significativamente no consumo total do prédio, não chegando a representar 0,2% do consumo total.

Referente aos vidros, observou-se que, na orientação norte, o uso do vidro low-e apresentou o melhor consumo em todos os casos. Quando se compara este resultado com o consumo dos modelos com vidro absorvente e com o vidro comum transparente, o uso do low-e chega a diminuir o consumo total do prédio em até 0,4%. Com o uso do vidro comum transparente e do vidro absorvente verde os modelos simulados apresentaram resultados muito semelhantes, porém o vidro absorvente apresentou um desempenho superior, diminuindo o consumo total do prédio em até 0,2%.

Observou-se que o uso de cores escuras no interior de algumas paredes podem diminuir o consumo total do prédio, se comparado com o uso de cores claras

em todas as paredes internas; no entanto, essa redução é muito pequena, chegando no máximo a 0,1% do consumo total da edificação.

A tab. 02 apresenta uma relação das características alteradas com o consumo total do modelo padrão.

Tabela 02 - Relação das características alteradas com o consumo total do modelo padrão, na orientação norte

Orientação		Norte
Prateleiras de luz		- 0,2% de consumo total
Vidros	Absorvente para comum transparente	+ 0,2% de consumo total
	Absorvente para low-e	- 0,4% de consumo total
	Comum transparente para low-e	- 0,4% de consumo total
Cores claras (80% reflexão)		+ 0,1% de consumo total

Fonte: Autora, 2017

Por outro lado, em todos os casos simulados da orientação norte, observou-se que cabe ao aquecimento (heating) aproximadamente 17 a 18% do consumo total de energia e ao resfriamento (cooling) parcelas entre 2 a 4% do consumo total. Conseqüentemente, pode-se afirmar que para o modelo do estudo de caso adotado, não há praticamente necessidade de resfriamento, mas sim, de aquecimento.

O consumo relativo aos equipamentos representou cerca de 79 a 80% do consumo total de energia dos modelo avaliados.

Em suma, na orientação norte, verificou-se que o caso N_CP_3_E (com prateleira de luz, com vidro low-e e cores internas escuras), obteve o melhor desempenho termoenergético, que foi de 15.297,11 KW/ano e o caso N_CP_2_E (com prateleira de luz, com vidro comum transparente e cores internas escuras) apresentou o pior desempenho termoenergético, que foi de 15.360,87 KW/ano, resultando em uma diferença de 63,76 KW/ano, representando aproximadamente 0,4% de economia se comparado a melhor proposta com a pior.

Modelos orientados ao leste

A tab. 03 apresenta os dados de consumo resultantes dos processos de simulação nos modelos orientados ao leste.

Tabela 03 - Consumo na orientação leste, sem iluminação artificial

SEM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL						
ORIENTAÇÃO	CASOS	HEATING	COOLING	ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	EQUIPAMENTOS	TOTAL (KWh)
LESTE	L_SP_1_E	2491,64	675,55	0	12181,67	15348,86
	L_SP_1_C	2509,21	653,14	0	12181,67	15344,02
	L_SP_2_E	2670,15	450,87	0	12181,67	15302,69
	L_SP_2_C	2757,40	423,88	0	12181,67	15362,95
	L_SP_3_E	2632,93	395,49	0	12181,67	15210,09
	L_SP_3_C	2643,14	387,59	0	12181,67	15212,40
	L_CP_1_E	2548,53	566,69	0	12181,67	15296,89
	L_CP_1_C	2564,81	550,34	0	12181,67	15296,82
	L_CP_2_E	2767,69	396,77	0	12181,67	15346,13
	L_CP_2_C	2799,40	376,46	0	12181,67	15357,53
	L_CP_3_E	2728,39	343,29	0	12181,67	15253,35
	L_CP_3_C	2738,11	337,52	0	12181,67	15257,30

Fonte: Autora, 2017

Verificou-se que o uso ou não de prateleiras de luz, não interfere significativamente no consumo total do prédio, chegando a representar aproximadamente 0,3% do consumo total. Observou-se também que, nos casos com vidros absorventes e com vidro comum transparente e uso de cores claras, o uso das prateleiras de luz diminuem o consumo total e nos demais casos, ou seja, com vidros low-e e vidro comum transparente e uso de cores escuras, o uso das prateleiras de luz aumentam o consumo total do prédio.

Referente aos vidros, observou-se que, na orientação leste, o vidro low-e apresentou o menor consumo em todos os casos simulados. Comparado com o vidro absorvente e o vidro comum transparente, o low-e chega a diminuir o consumo total do prédio em até 1%. Por outro lado, o vidro comum transparente e o vidro absorvente verde apresentaram resultados muito semelhantes, porém o vidro absorvente apresentou melhor desempenho, chegando a diminuir em até 0,4% do consumo total do prédio se comparado com o vidro comum transparente.

No que diz respeito às cores, verificou-se que o uso de cores escuras no interior de algumas paredes podem diminuir o consumo total do prédio, quando

comparado com o uso de cores claras em todas as paredes internas; entretanto, essa redução é muito pequena, não chegando a 0,4% do consumo total da edificação.

A tab. 04 apresenta uma síntese da relação das características alteradas com o consumo total do modelo padrão.

Tabela 04 - Relação das características alteradas com o consumo total do modelo padrão, na orientação leste

Orientação		Leste
Prateleiras de luz		+ e - 0,3% de consumo total
Vidros	Absorvente para comum transparente	+0,4% de consumo total
	Absorvente para low-e	- 0,9% de consumo total
	Comum transparente para low-e	- 1 % de consumo total
Cores claras (80% reflexão)		+ 0,4% de consumo total

Fonte: Autora, 2017

Em todos os casos simulados da orientação leste, observou-se que o aquecimento (heating) representou aproximadamente 16 a 18% do consumo total de energia, do modelo de prédio avaliado, e o resfriamento (cooling) representou aproximadamente 2 a 4% do consumo total. Da mesma forma que os modelos orientados ao norte, também os modelos orientados ao leste necessitam mais energia para aquecimento e muito pouco para resfriamento.

O consumo relativo aos equipamentos representou cerca de 79 a 80% do consumo total de energia nos modelos estudados.

A partir daí, verificou-se que na orientação leste, o caso L_SP_3_E (sem prateleira de luz, com vidro low-e e cores internas escuras), obteve o melhor desempenho termoenergético, que foi de 15.210,09 KW/ano e o caso L_SP_2_C (sem prateleira de luz, com vidro comum transparente e com todas as cores internas claras) apresentou o pior desempenho termoenergético, que foi de 15.362,95

KW/ano, resultando em uma diferença de 152,86 KW/ano, representando aproximadamente 1% de economia entre o melhor e o pior desempenho.

Modelos orientados ao oeste

A tab 05 apresenta os dados de consumo resultantes dos processos de simulação nos modelos orientados ao oeste.

Tabela 05 - Consumo na orientação oeste, sem iluminação artificial

SEM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL						
ORIENTAÇÃO	CASOS	HEATING	COOLING	ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	EQUIPAMENTOS	TOTAL (KWh)
OESTE	O_SP_1_E	2472,19	633,53	0	12181,67	15287,39
	O_SP_1_C	2491,62	613,71	0	12181,67	15287,00
	O_SP_2_E	2827,04	422,05	0	12181,67	15430,76
	O_SP_2_C	2865,24	396,75	0	12181,67	15443,66
	O_SP_3_E	2601,03	384,26	0	12181,67	15166,96
	O_SP_3_C	2610,52	376,42	0	12181,67	15168,61
	O_CP_1_E	2507,83	546,14	0	12181,67	15235,64
	O_CP_1_C	2526,38	529,51	0	12181,67	15237,56
	O_CP_2_E	2855,70	376,93	0	12181,67	15414,30
	O_CP_2_C	2891,80	355,82	0	12181,67	15429,29
	O_CP_3_E	2825,07	327,66	0	12181,67	15334,40
	O_CP_3_C	2834,39	321,69	0	12181,67	15337,75

Fonte: Autora, 2017

Com relação às características construtivas alteradas, verificou-se que o uso ou não de prateleiras de luz, não interfere significativamente no consumo total do prédio, chegando a representar aproximadamente 1,10% do consumo total. Observou-se também que, nos casos com vidros absorventes e com vidros comuns transparentes, o uso das prateleiras de luz diminui o consumo total e nos casos com vidros low-e, o uso das prateleiras de luz aumenta o consumo total do prédio.

Referente aos vidros, observou-se que, na orientação oeste, o vidro low-e apresentou o consumo mais baixo, em todos os casos simulados. Quando se compara os resultados apresentados nos modelos com o vidro absorvente e com o vidro comum transparente, com o low-e, o consumo total do modelo diminuiu em até 1,8%. Os vidros comum transparente e absorvente verde apresentaram resultados semelhantes, porém o vidro absorvente apresentou melhor desempenho, reduzindo em até 1,2% o consumo total do prédio.

A exemplo dos modelos orientados ao norte e ao leste, também ao oeste, o uso de cores escuras no interior de algumas paredes diminuiu o consumo total do prédio, num percentual máximo a 0,1% do consumo total da edificação.

A tab. 06 apresenta a relação das características alteradas com o consumo total do modelo de prédio administrativo avaliado.

Tabela 06 - Relação das características alteradas com o consumo total do modelo padrão, na orientação oeste

Orientação		Oeste
Prateleiras de luz		+ 1,1% de consumo total
Vidros	Absorvente para comum transparente	+1,2% de consumo total
	Absorvente para low-e	-0,8% de consumo total
	Comum transparente para low-e	- 1,8% de consumo total
Cores claras (80% reflexão)		+0,1% de consumo total

Fonte: Autora, 2017

Em todos os casos simulados da orientação leste, observou-se que o aquecimento (heating) representou aproximadamente 16 a 19% do consumo total de energia, do modelo de prédio avaliado, e o resfriamento (cooling) representou aproximadamente 2 a 4% do consumo total. Da mesma forma que os modelos orientados ao norte e ao leste, também os modelos orientados ao oeste necessitam mais energia para aquecimento e muito pouco para resfriamento.

O consumo relativo aos equipamentos representou cerca de 79 a 80% do consumo total de energia nos modelos estudados.

Verificou-se que o caso O_SP_3_E (sem prateleira de luz, com vidro low-e e cores internas escuras), obteve o melhor desempenho termoenergético quando orientado ao oeste, com consumo de de 15.166,96 KW/ano e o caso O_SP_2_C (sem prateleira de luz, com vidro comum transparente e com todas as cores internas claras) apresentou, na mesma orientação, o pior desempenho termoenergético, com

consumo de 15.443,66 KW/ano, resultando em uma diferença de 276,70 KW/ano, que representa aproximadamente 1,80% de economia quando se confronta dados de consumo dos modelos com melhor e pior desempenho.

Modelos orientados ao nordeste

A tab. 07 apresenta os dados de consumo resultantes dos processos de simulação nos modelos orientados ao nordeste.

Tabela 07 - Consumo na orientação nordeste, sem iluminação artificial

SEM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL						
ORIENTAÇÃO	CASOS	HEATING	COOLING	ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	EQUIPAMENTOS	TOTAL (KWh)
NORDESTE	NE_SP_1_E	2480,73	694,22	0	12181,67	15356,62
	NE_SP_1_C	2498,20	672,11	0	12181,67	15351,98
	NE_SP_2_E	2668,76	462,16	0	12181,67	15312,59
	NE_SP_2_C	2746,99	434,44	0	12181,67	15363,10
	NE_SP_3_E	2630,56	414,94	0	12181,67	15227,17
	NE_SP_3_C	2640,61	406,55	0	12181,67	15228,83
	NE_CP_1_E	2536,06	603,90	0	12181,67	15321,63
	NE_CP_1_C	2552,59	586,40	0	12181,67	15320,66
	NE_CP_2_E	2712,14	417,24	0	12181,67	15311,05
	NE_CP_2_C	2788,59	395,42	0	12181,67	15365,68
	NE_CP_3_E	2672,26	370,36	0	12181,67	15224,29
	NE_CP_3_C	2681,66	363,98	0	12181,67	15227,31

Fonte: Autora, 2017

Sobre as características construtivas alteradas, verificou-se que o uso ou não de prateleiras de luz, não interfere significativamente no consumo total do prédio, chegando a representar aproximadamente 0,2% do consumo total. Observou-se também que em todos os casos, o uso das prateleiras de luz diminui o consumo total, com exceção do modelo com vidro comum transparente e uso de cores claras. Referente aos vidros, observou-se que, na orientação nordeste, o vidro low-e apresentou o menor consumo em todos os casos simulados. Comparado com o vidro absorvente e o vidro comum transparente, o low-e chega a diminuir o consumo total do prédio em até 0,9%. Os modelos com vidro comum transparente e vidro absorvente verde apresentaram resultados similares.

Observou-se que o uso de cores escuras no interior de algumas paredes diminuíram num percentual de até 0,4 % o consumo total do prédio.

A tab. 08 apresenta a relação das características alteradas com o consumo total do modelo padrão.

Tabela 08 - Relação das características alteradas com o consumo total do modelo de prédio administrativo avaliado, na orientação nordeste

Orientação		Nordeste
Prateleiras de luz		- 0,2% de consumo total
Vidros	Absorvente para comum transparente	+ e - 0,3% de consumo total
	Absorvente para low-e	- 0,9% de consumo total
	Comum transparente para low-e	- 0,9% de consumo total
Cores claras (80% reflexão)		+ 0,4% de consumo total

Fonte: Autora, 2017

Em suma, na orientação nordeste, verificou-se que o caso NE_CP_3_E (com prateleira de luz, com vidro low-e e cores internas escuras), obteve o melhor desempenho termoenergético, que foi de 15.224,29 KW/ano e o caso NE_CP_2_C (com prateleira de luz, com vidro comum transparente e com todas as cores internas claras) apresentou o pior desempenho termoenergético, que foi de 15.365,68 KW/ano, resultando em uma diferença de 141,39 KW/ano, representando aproximadamente 0,92% de economia quando se confronta o melhor e o pior desempenho termoenergéticos dos modelos.

Em todos os casos simulados da orientação nordeste, observou-se que o aquecimento (heating) representou aproximadamente 16 a 18% do consumo total de energia, do modelo de prédio avaliado, e o resfriamento (cooling) representou aproximadamente 2 a 5% do consumo total. Da mesma forma que os modelos orientados ao norte, ao leste e ao oeste, também os modelos orientados ao leste necessitam mais energia para aquecimento e muito pouco para resfriamento.

Modelos orientados ao noroeste

A tab. 09 apresenta os dados de consumo resultantes dos processos de simulação nos modelos orientados ao noroeste.

Tabela 09 - Consumo na orientação noroeste, sem iluminação artificial

SEM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL						
ORIENTAÇÃO	CASOS	HEATING	COOLING	ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	EQUIPAMENTOS	TOTAL (KWh)
NOROESTE	NO_SP_1_E	2254,20	676,31	0	12181,67	15112,18
	NO_SP_1_C	2272,23	654,16	0	12181,67	15108,06
	NO_SP_2_E	2789,83	433,65	0	12181,67	15405,15
	NO_SP_2_C	2827,49	407,29	0	12181,67	15416,45
	NO_SP_3_E	2776,05	391,33	0	12181,67	15349,05
	NO_SP_3_C	2785,93	383,48	0	12181,67	15351,08
	NO_CP_1_E	2480,38	592,42	0	12181,67	15254,47
	NO_CP_1_C	2498,84	573,55	0	12181,67	15254,06
	NO_CP_2_E	2818,21	400,94	0	12181,67	15400,82
	NO_CP_2_C	2854,29	377,42	0	12181,67	15413,38
	NO_CP_3_E	2802,61	354,67	0	12181,67	15338,95
	NO_CP_3_C	2812,10	347,91	0	12181,67	15341,68

Fonte: Autora, 2017

Com relação às características construtivas alteradas, verificou-se que o uso ou não de prateleiras de luz, não interfere significativamente no consumo total do prédio, chegando a representar aproximadamente 1% do consumo total. Observou-se também que nos casos com vidros absorventes, o uso das prateleiras de luz aumentou o consumo total e nos casos com vidros comuns transparentes e low-e, o uso das prateleiras de luz diminuiu o consumo total do prédio.

Referente aos vidros, observou-se que, na orientação noroeste, o vidro absorvente apresentou o menor consumo, em todos os casos simulados. Na comparação do desempenho dos modelos com o vidro comum transparente e o vidro low-e, o consumo com o uso do vidro absorvente diminuiu o consumo total do prédio em até 2%. O vidro comum transparente e o vidro low-e apresentaram resultados muito semelhantes, entretanto o vidro low-e apresentou melhor desempenho, chegando a diminuir em até 0,5% o consumo total do prédio em relação ao vidro comum transparente.

O uso de cores escuras no interior de algumas paredes reduziu o consumo total dos modelos, quando comparado o uso de cores claras em todas as paredes internas, num percentual máximo a 0,08% do consumo total da edificação.

Na tab. 10 apresenta-se a relação das características alteradas com o consumo total do modelo padrão.

Tabela 10 - Relação das características alteradas com o consumo total do modelo padrão, na orientação noroeste

Orientação		Noroeste
Prateleiras de luz		+ 1% de consumo total
Vidros	Absorvente para comum transparente	+ 2% de consumo total
	Absorvente para low-e	+ 2% de consumo total
	Comum transparente para low-e	- 0,5% de consumo total
Cores claras (80% reflexão)		+ 0,08% de consumo total

Fonte: Autora, 2017

Em todos os casos simulados da orientação noroeste, observou-se que o aquecimento (heating) representou aproximadamente 15 a 19% do consumo total de energia, do modelo de prédio avaliado, e o resfriamento (cooling) representou aproximadamente 2 a 4% do consumo total. Da mesma forma que os modelos orientados ao norte, ao leste e ao oeste, também os modelos orientados ao leste necessitam mais energia para aquecimento e muito pouco para resfriamento.

Observou-se então, que na orientação noroeste, o caso NO_SP_1_C (sem prateleira de luz, com vidro absorvente verde e cores internas claras), obteve o melhor desempenho termoenergético, que foi de 15.108,06 KW/ano e o caso NO_SP_2_C (sem prateleira de luz, com vidro comum transparente e com todas as cores internas claras) apresentou o pior desempenho termoenergético, que foi de 15.416,45 KW/ano, resultando em uma diferença de 308,39 KW/ano, representando aproximadamente 2% de economia entre ambos dados de consumo.

APÊNDICE B - Relação desempenho lumínico x desempenho termoenergético por orientação solar

Na relação do consumo total do prédio com a DA, observou-se que na orientação norte, houve um agrupamento de valores muito semelhantes, referentes ao uso do vidro low-e nos modelos propostos, que apresentou o melhor desempenho referente ao consumo (diminuindo 0,4% do consumo total do modelo padrão), apresentando, porém, o pior desempenho lumínico, 13% menos de DA em relação ao modelo padrão.

Na orientação norte, o uso de prateleiras de luz diminuiu a DA em 1%, e o consumo total modelo em 0,2%, ou seja, o uso de prateleiras de luz não melhora o desempenho lumínico dos modelos, entretanto, de maneira leve, melhora o seu desempenho termoenergético. Referente aos vidros, o desempenho lumínico do melhor tipo de vidro é o comum transparente e após o absorvente. Já pelo desempenho termoenergético, o melhor tipo de vidro é o low-e e posteriormente, o absorvente.

Em relação às cores aplicadas nas paredes, quanto ao desempenho lumínico, as cores claras aumentam a DA em 1%; quanto ao desempenho termoenergético, as cores claras aumentam 0,1% do consumo total dos modelos. Então, para o desempenho lumínico é favorável o uso de cores claras em todas as paredes internas, no entanto, para o desempenho termoenergético é favorável o uso de cores escuras em algumas paredes internas. Essas relações estão apresentadas na tab. 11 e na Fig. 01.

Tabela 11 - Relação da DA com o consumo total, na orientação norte

CARACTERÍSTICAS ALTERADAS		
Orientação	Norte	
Desempenho	Luminoso	Termoenergético
Prateleiras de luz	-1% de DA	- 0,2% de consumo total
Vidros	Absorvente para comum transparente	+5% de DA + 0,2% de consumo total
	Absorvente para low-e	-8% de DA - 0,4% de consumo total
	Comum transparente para low-e	-13% de DA - 0,4% de consumo total
Cores claras (80% reflexão)	+1% de DA	+ 0,1% de consumo total

Fonte: Autora, 2017

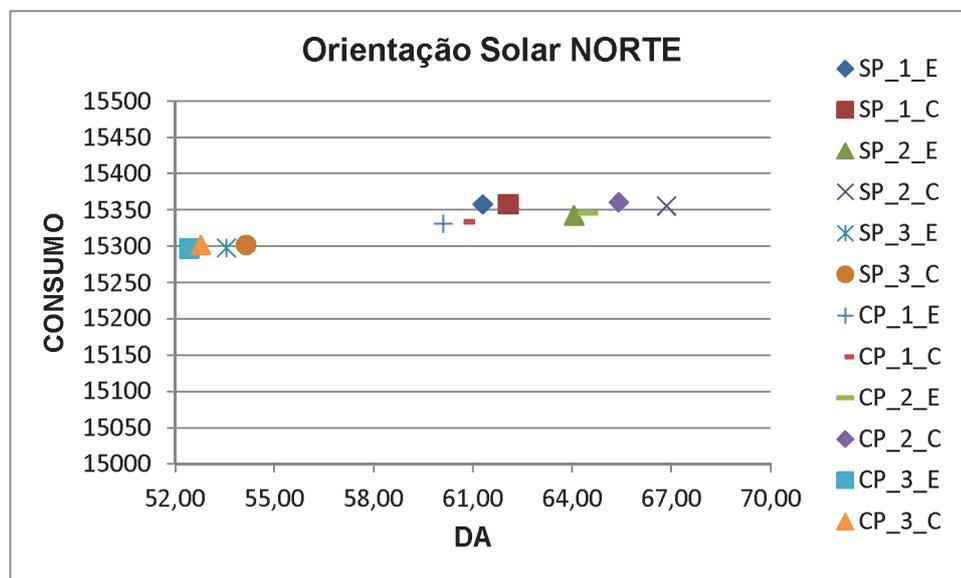


Figura 01 - Relação de consumo e DA na orientação solar NORTE

Fonte: Autora, 2017

Na orientação leste, o uso de prateleiras de luz diminuiu a DA em 2%, porém, dependendo do caso, reduziu ou aumentou o consumo total dos modelos em 0,3%, ou seja, para o desempenho lumínico não foi favorável o uso de prateleiras de

luz, no entanto, para o desempenho termoenergético foi favorável em algumas situações e em outras, não.

Em relação aos vidros, o melhor desempenho lumínico dos modelos foi o que apresentava vidro comum transparente, e a seguir, o absorvente. Sob a ótica do desempenho termoenergético, o melhor tipo de vidro foi o low-e, seguido do absorvente.

Quanto aos resultados de desempenho lumínico, observou-se que paredes em cores claras aumentaram em 1% a DA, e no desempenho termoenergético, as cores claras aumentaram 0,4% do consumo total dos modelos. O uso de cores claras em todas as paredes internas foi favorável para o desempenho lumínico, entretanto, o uso de cores escuras em algumas paredes internas mostrou-se favorável para o desempenho termoenergético dos modelos. Essas relações estão apresentadas na tab. 12 e na Fig. 02.

Tabela 12 - Relação da DA com o consumo total, na orientação leste

CARACTERÍSTICAS ALTERADAS			
Orientação		Leste	
Desempenho		Luminoso	Termoenergético
Prateleiras de luz		-2% de DA	+ e - 0,3% de consumo total
Vidros	Absorvente para comum transparente	+5% de DA	+ 0,4% de consumo total
	Absorvente para low-e	-8% de DA	- 0,9% de consumo total
	Comum transparente para low-e	-13% de DA	- 1% de consumo total
Cores claras (80% reflexão)		+1% de DA	+0,4% de consumo total

Fonte: Autora, 2017

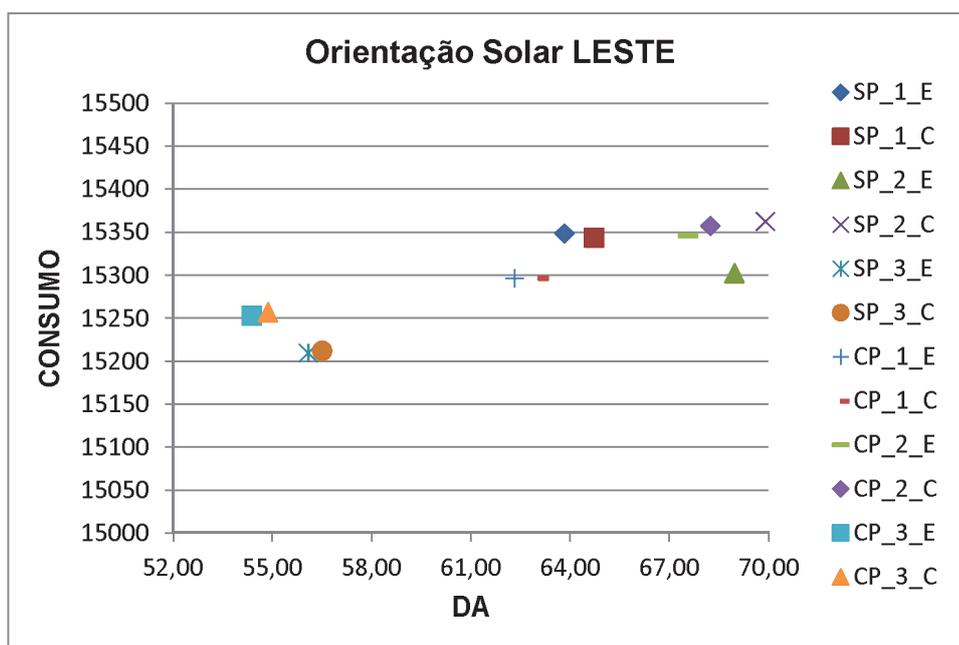


Figura 02 - Relação de consumo e DA na orientação solar LESTE

Fonte: Autora, 2017

Na orientação oeste, o uso de prateleiras de luz diminuiu a DA em 2% e aumentou o consumo total do prédio em 1,1%, ou seja, para o desempenho lumínico e termoenergético, nessa orientação não foi favorável o uso de prateleiras de luz.

Quanto aos vidros, o melhor desempenho lumínico coube ao modelo com o vidro comum transparente, seguido do vidro absorvente. Os melhores desempenhos termoenergéticos corresponderam a um modelo com vidro low-e seguido de um com o vidro absorvente.

Em relação as cores, no desempenho lumínico, as cores claras aumentam 1% a DA e no desempenho termoenergético, as cores claras aumentam 0,1% do consumo total do modelo padrão, ou seja, para o desempenho lumínico foi favorável o uso de cores claras em todas as paredes internas, no entanto, para o desempenho termoenergético mostrou-se favorável o uso de cores escuras em algumas paredes internas. Essas relações estão apresentadas na tab. 13 e na Fig. 03.

Tabela 13 - Relação da DA com o consumo total, na orientação oeste

CARACTERÍSTICAS ALTERADAS			
Orientação		Oeste	
Desempenho		Luminoso	Termoenergético
Prateleiras de luz		-2% de DA	+ 1,1% de CT
Vidros	Absorvente para comum transparente	+5% de DA	+ 1,2% de CT
	Absorvente para low-e	-8% de DA	- 0,8% de CT
	Comum transparente para low-e	-13% de DA	- 1,8% de CT
Cores claras (80% reflexão)		+1% de DA	+0,1% de CT

Fonte: Autora, 2017

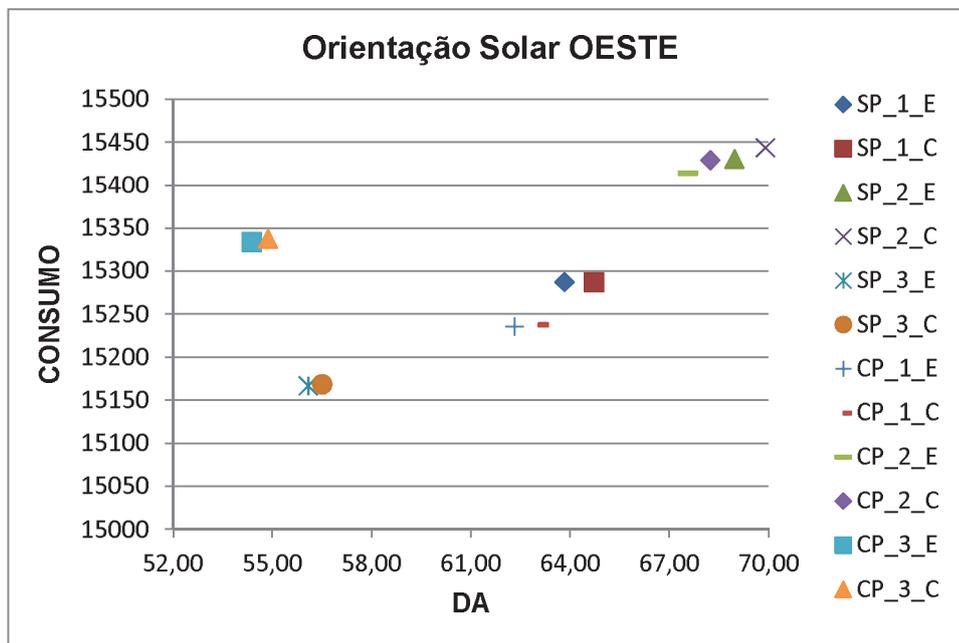


Figura 03 - Relação de consumo e DA na orientação solar OESTE

Fonte: Autora, 2017

Na orientação nordeste, o uso de prateleiras de luz diminuiu a DA em 1%, porém diminuiu o consumo total do modelo em 0,2%, ou seja, para o desempenho

lumínico não foi adequado o uso de prateleiras de luz, no entanto, para o desempenho termoenergético o foi.

O melhor desempenho lumínico relativo ao tipo de vidro foi o correspondente a um modelo com vidro comum transparente, seguido do absorvente. O melhor desempenho termoenergético correspondeu ao vidro low-e. Os vidros absorventes e comuns transparentes, nesta orientação, apresentaram o mesmo desempenho, já que seus resultados foram muito semelhantes.

Em relação às cores, para o desempenho lumínico, as cores claras aumentam em 1% a DA, e para o desempenho termoenergético, aumentam em 0,4% o consumo total do modelo, ou seja, para o desempenho lumínico foi favorável o uso de cores claras em todas as paredes internas, no entanto, para o desempenho termoenergético foi favorável o uso de cores escuras em algumas paredes internas. Essas relações estão apresentadas na tab. 14 e na Fig. 04.

Tabela 14 - Relação da DA com o consumo total, na orientação nordeste

CARACTERÍSTICAS ALTERADAS			
Orientação		Nordeste	
Desempenho		Luminoso	Termoenergético
Prateleiras de luz		-1% de DA	- 0,2% de consumo total
Vidros	Absorvente para comum transparente	+5% de DA	+ e - 0,3% de consumo total
	Absorvente para low-e	-8% de DA	- 0,9% de consumo total
	Comum transparente para low-e	-14% de DA	- 0,9% de consumo total
Cores claras (80% reflexão)		+1% de DA	+0,4% de consumo total

Fonte: Autora, 2017

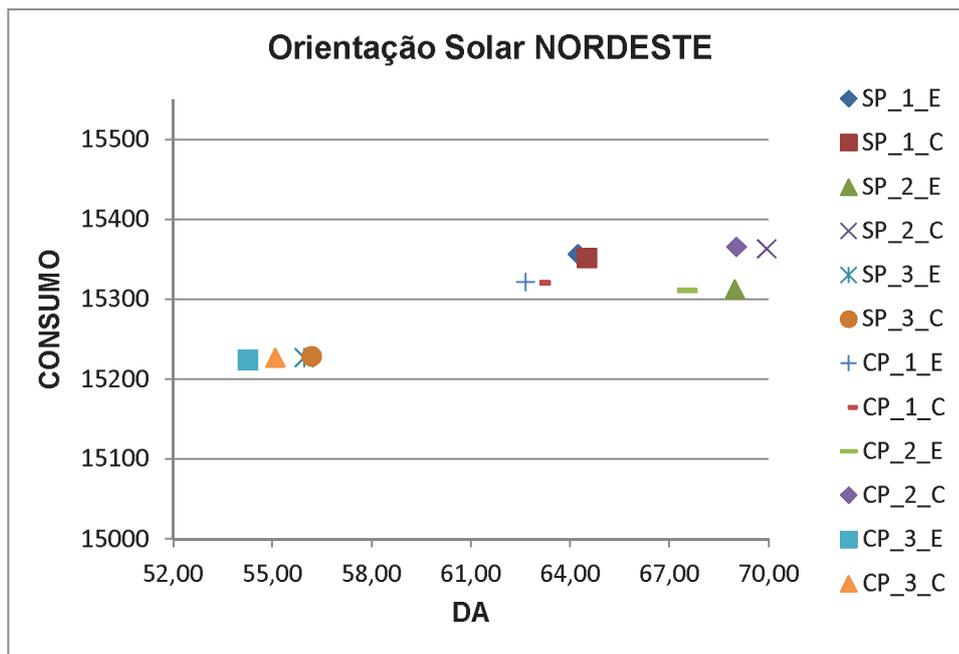


Figura 04 - Relação de consumo e DA na orientação solar NORDESTE

Fonte: Autora, 2017

Na orientação noroeste, o uso de prateleiras de luz diminuiu a DA em 1% e aumentou o consumo total do modelo em 1%, ou seja, para o desempenho lumínico e termoenergético não se apresentou adequado o uso de prateleiras de luz.

Referente aos vidros, o desempenho lumínico do melhor tipo de vidro foi o comum transparente e após o vidro absorvente. O modelo com o vidro absorvente apresentou o melhor desempenho termoenergético, seguido do low-e.

Quanto ao uso das cores nas paredes internas, para o desempenho lumínico, as cores claras aumentaram 1% na DA e para o desempenho termoenergético, as cores não tiveram relevância, pois apresentaram resultado insignificante, ou seja, abaixo de 0,08% de diferença entre o uso de cores claras ou cores escuras na orientação noroeste. Essas relações estão apresentadas na tab. 15 e na Fig. 05.

Tabela 15 - Relação da DA com o consumo total, na orientação noroeste

CARACTERÍSTICAS ALTERADAS			
Orientação		Noroeste	
Desempenho		Luminoso	Termoenergético
Prateleiras de luz		-1% de DA	+ 1% de consumo total
Vidros	Absorvente para comum transparente	+5% de DA	+ 2% de consumo total
	Absorvente para low-e	-8% de DA	+ 2% de consumo total
	Comum transparente para low-e	-14% de DA	- 0,5% de consumo total
Cores claras (80% reflexão)		+1% de DA	- 0,08% de consumo total

Fonte: Autora, 2017

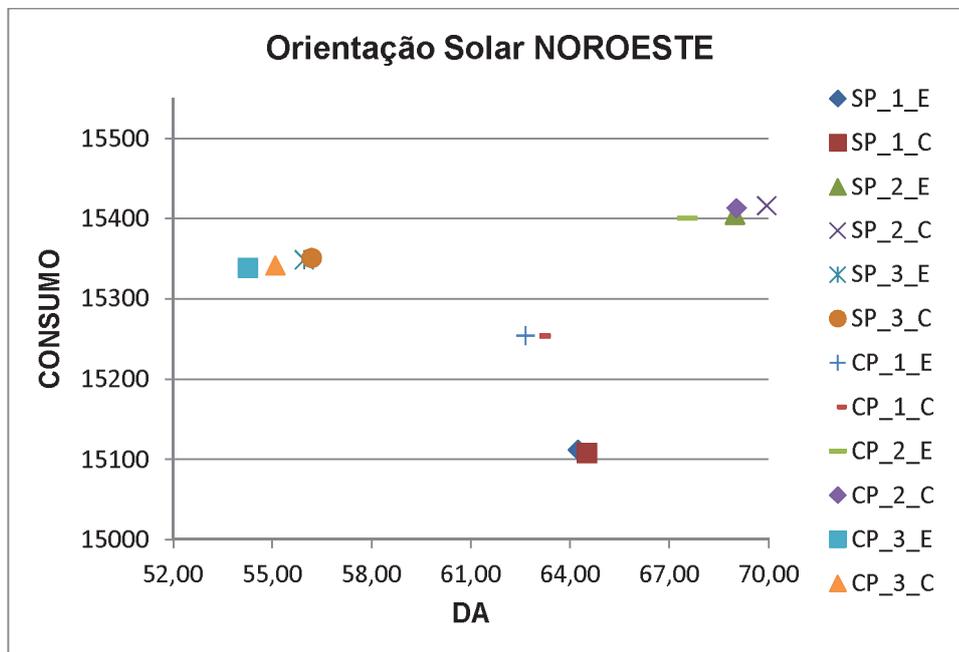


Figura 05 - Relação de consumo e DA na orientação solar NOROESTE

Fonte: Autora, 2017