

MATEUS VINÍCIUS BAVARESCO

**INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO DOS USUÁRIOS COM  
ELEMENTOS INTERNOS DE SOMBREAMENTO NA  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Enedir Ghisi, PhD.

Florianópolis  
2016

Ficha de identificação da obra gerada pelo Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bavaresco, Mateus Vinícius

Influência da interação dos usuários com elementos internos de sombreamento na eficiência energética de edificações comerciais / Mateus Vinícius Bavaresco ; orientador, Enedir Ghisi - Florianópolis, SC, 2016. 158 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Eficiência energética em edificações. 3. Comportamento do usuário. 4. Iluminação natural e artificial. 5. Simulação computacional. I. Ghisi, Enedir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Mateus Vinícius Bavaresco

**INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO DOS USUÁRIOS COM  
ELEMENTOS INTERNOS DE SOMBREAMENTO NA  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Civil”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 20 de setembro de 2016.

---

Glicério Trichês  
Coordenador do PPGEC

**Banca examinadora:**

---

Prof. Eneir Ghisi, PhD.  
Orientador - UFSC

---

Prof. Roberto Lamberts, PhD.  
UFSC

---

Profa. Veridiana Atanasio Scalco, Dra.  
UFSC

---

Prof. João Roberto Gomes de Faria, Dr.  
UNESP

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maristela e Hilário, e irmãs, Franciele e Giseli, pelo apoio, compreensão e incentivo concedidos desde sempre; principalmente quando decidi morar tão longe em busca de um sonho.

Ao Professor Enedir Ghisi pelas contribuições, pelo empenho e seriedade no desempenho das orientações. Também pelo incentivo à investigação científica.

À Professora Veridiana Atanásio Scalco e aos Professores Roberto Lamberts e João Roberto Gomes de Faria por terem aceitado o convite para avaliar este trabalho.

À minha madrinha, Maria de Fátima (*in memoriam*), por ter sido uma grande entusiasta para que eu continuasse na Universidade depois da graduação. E, principalmente, por sempre ter acreditado em mim.

Ao Matheus Geraldi, pelo incentivo e ajuda sempre, mas especialmente na fase das simulações computacionais desta pesquisa.

À Natália Rosa, ao Matheus Geraldi e à Raquel Cardoso por termos nos conhecido. Foi incrrrrrrríííííveeeellllll (ROSA, 2015).

À Larissa Pereira de Souza pelas conversas bem humoradas e produtivas.

À Camila Puhl por compartilhar a aventura de ir embora do MT e fazer mestrado em Floripa (sem combinar previamente a cidade).

Aos colegas de disciplinas e amigos que o mestrado me proporcionou: Adriano Dias, Bianca Milani, Emerson Penso, Bruno Aied, Gabriela Goedert, Kacia Henderson, Laís De Bortoli, Luciana Beck, Marina Von Meusel, Mônica Pinto, Natalia Bula, Paulo Vitor e Raquel Sousa.

À Ana Paula Melo pela ajuda e incentivo prestados em diversos momentos.

Ao Alexandre Reis e à Raphaela Walger pelas grandes ajudas com o DIVA!

À Raphaela Walger, Renata De Vecchi e Ricardo Rupp (CB3R) por me acolherem no NC e pela amizade desenvolvida no laboratório.

À Vanessa pelas conversas na copa do LabEEE e pelas dicas sobre o sistema de condicionamento de ar.

À Bruna Balvedi pela amizade, conversas e sugestões dadas a esta pesquisa.

À Aline Schaefer pelo bom humor e entusiasmo com a pesquisa dos amigos.

À Elisa Beck por compartilhar a ansiedade de ter o mesmo prazo de defesa.

Aos amigos e amigas do LabEEE e do CB3E pela amizade desenvolvida.

À Priscila e à Mari, da Secretaria do PPGEC, por serem sempre tão solícitas, prestativas e simpáticas com os pós-graduandos (mesmo quando a gente chega para tirar uma dúvida às 11h58).

Aos amigos e amigas do Mato Grosso que, mesmo distantes, foram presentes durante os dois anos (mas poucos me visitaram e sim, isso é uma cobrança).

Ao Sr. Osvaldo Ferreira por possibilitar a coleta de dados no edifício que foi o objeto de estudo e por todo o apoio prestado antes e durante a aplicação dos questionários.

À Eletrobras pela bolsa de estudos concedida durante o Mestrado.

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

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as interações dos usuários com os elementos internos de sombreamento de uma edificação de escritório sob dois aspectos: um qualitativo e um quantitativo. O aspecto qualitativo compreendeu a aplicação de questionários a usuários de uma edificação de escritório de Florianópolis. Foram criados três padrões de comportamento (dois passivos e um ativo). O primeiro dos passivos consiste na manutenção dos elementos internos de sombreamento abertos durante todo o ano. O segundo grupo de usuários passivos compreende os que mantêm os elementos fechados durante todo o ano. O usuário ativo tende a abrir os elementos internos de sombreamento no momento de chegada ao ambiente de trabalho e a fechá-los quando é percebida radiação solar superior a  $50 \text{ W/m}^2$  no plano de trabalho. A avaliação quantitativa consistiu em simulações computacionais a fim de mensurar a influência dos padrões de comportamento na eficiência energética de edificações. As simulações foram realizadas com o *plug-in* DIVA 4.0. Percebeu-se que o comportamento dos usuários passivos que mantêm os elementos internos de sombreamento sempre abertos resulta nos maiores aproveitamentos de luz natural. Entretanto, a radiação solar incidente é menos obstruída e o consumo com resfriamento tende a ser maior em relação aos outros dois usuários avaliados. Os usuários ativos tendem a gerar consumos intermediários em relação aos dois perfis de comportamento passivo tanto para iluminação quanto para resfriamento. Os usuários passivos que mantêm os elementos sempre fechados geram os menores aproveitamentos de iluminação natural, mas as maiores reduções na carga térmica interna. Entretanto, o elevado consumo com iluminação artificial faz com que o consumo total seja superior aos dos usuários passivos. Dessa forma, como tendência geral, percebeu-se que o comportamento do usuário ativo resulta nos menores consumos de energia em comparação aos dois perfis de usuário passivo avaliados.

**Palavras-chave:** eficiência energética de edificações, iluminação, comportamento do usuário, simulação computacional.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the occupants' interactions with internal blinds of an office building in both qualitative and quantitative aspects. The qualitative one consisted of questionnaires application to occupants of an office building located in Florianópolis. Three patterns of occupants' interaction with internal blinds were created (two of them were classified as passive and the other one as active). The first passive behaviour consists of maintaining internal blinds always open throughout the annual simulation. The second group of passive occupants are those who maintain the internal blinds always closed. The active user tends to open the internal blinds in the morning upon arrival at the workplace and closing them when solar radiation higher than  $50 \text{ W/m}^2$  is perceived in the work plan. Quantitative evaluation consisted of computer simulations in order to measure the influence of behavioural patterns in the energy efficiency of buildings. The simulations were performed using the DIVA 4.0 plug-in. It was noticed that passive users that keep the internal blinds always open result in greater use of daylight. On the other hand, solar radiation is less obstructed and therefore energy consumption for cooling tends to be higher than for the other two types of users. The active users tend to result intermediate consumptions regarding the two passive behaviours evaluated both for lighting and for cooling. Passive users that maintain the internal blinds always closed result in lower use of daylight, but greater reductions in internal thermal load. However, higher energy consumption for artificial lighting makes the total energy consumptions greater than that for passive users. Thus, as a general trend, it was realized that the active user behaviour results in lower overall energy consumption when compared to the behaviour of the two passive user.

**Key words:** energy efficiency of buildings, lighting, occupant behaviour, computer simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre a radiação solar e o fechamento dos elementos internos de sombreamento. ....	43
Figura 2 - Fluxograma do método proposto nesta pesquisa. ....	45
Figura 3 – Detalhamento de um dos caminhos da árvore de possibilidades de combinação das variáveis avaliadas na pesquisa. ....	47
Figura 4 – Carta solar de Florianópolis-SC. ....	50
Figura 5 – Planta da edificação avaliada no estudo de caso. ....	51
Figura 6 – Perspectiva da edificação avaliada e seu entorno. ....	52
Figura 7 - Detalhamento das variações de comportamento do usuário passivo avaliado nesta pesquisa. ....	55
Figura 8 - Detalhamento das variações de comportamento do usuário ativo avaliado nesta pesquisa. ....	56
Figura 9 – Demonstração das diferentes áreas de janela consideradas: à esquerda, 25%; no centro, 50%; à direita, 80% da fachada envidraçada. ....	60
Figura 10 – Padrão de ocupação e de uso de equipamentos nas simulações. ....	61
Figura 11 – Ilustração de modelo simulado para avaliação da iluminação natural nos ambientes. ....	66
Figura 12 - Ilustração de modelo simulado para avaliação de desempenho energético dos ambientes. ....	68
Figura 13 – Orientação das salas ocupadas pelos entrevistados. ....	76
Figura 14 – Preferência dos usuários por sentar próximo às janelas. ....	78
Figura 15 – Frequência de interação e posição predominante das persianas. ....	79
Figura 16 – Particularidades das interações dos usuários com as persianas visando sua abertura. ....	81
Figura 17 – Particularidades das interações dos usuários com as persianas visando seu fechamento. ....	83
Figura 18 – Resposta dos usuários sobre evitar a interação por: .....	85



Figura 19 – Principal motivo de operação das persianas nos ambientes avaliados.....	87
Figura 20 – Percepção dos usuários sobre a permanência das persianas no inverno. ....	88
Figura 21 – Relação entre a orientação dos ambientes e o posicionamento predominante das persianas. ....	89
Figura 22 – Relação entre a orientação dos ambientes e fatores relacionados à abertura dos elementos internos de sombreamento.....	93
Figura 23 - Relação entre a orientação dos ambientes e as interações dos usuários visando o fechamento das persianas..	96
Figura 24 – Relação entre a distância dos usuários à janela e as interações com os elementos internos de sombreamento. ....	100
Figura 25 – Exemplo de diagrama de caixa utilizado na análise dos resultados com descrição das informações existentes. ....	107
Figura 26 – Relação entre a orientação dos ambientes simulados e os consumos com iluminação, resfriamento e total dos perfis de comportamento de usuário avaliados. ....	108
Figura 27 – Relação entre a geometria dos ambientes simulados e os consumos com iluminação, resfriamento e total dos perfis de comportamento de usuário avaliados. ....	114
Figura 28 – Relação entre a área de janela dos ambientes simulados e os consumos com iluminação, resfriamento e total dos perfis de comportamento de usuário avaliados. ....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Materiais mais comumente empregados nas paredes externas de edifícios de escritório em Florianópolis-SC. ....	59
Tabela 2 – Cargas térmicas dos modelos simulados.....	63
Tabela 3 - Parâmetros inseridos nas simulações do ambiente de iluminação. ....	64
Tabela 4 - Parâmetros a serem adotados nas simulações termoenergéticas no EnergyPlus.....	68
Tabela 5 – Resumo das características das simulações no EnergyPlus.....	70
Tabela 6 - Relação entre a orientação dos ambientes e o posicionamento predominante das persianas expressa em termos de frequência e porcentagem. ....	91
Tabela 7 – Relação entre as orientações avaliadas e os principais momentos de fechamento das persianas obtidos. ....	102
Tabela 8 – Consumos médios observados nas orientações avaliadas. ....	109
Tabela 9 - Consumos médios observados nas geometrias avaliadas. ....	115
Tabela 10 – Consumos médios observados para as áreas de janela avaliadas.....	119

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1 Objetivos .....	16
1.1.1 Objetivo geral .....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
1.2 Estrutura do trabalho.....	17
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	19
2.1 Iluminação natural.....	19
2.2 Comportamento do usuário .....	25
2.3 Elementos internos de sombreamento .....	29
2.4 Programas de simulação computacional.....	36
2.4.1 <i>EnergyPlus</i> .....	36
2.4.2 <i>Daysim</i> .....	37
2.4.3 Diva para Rhinoceros .....	40
2.5 Síntese da revisão de literatura .....	41
<b>3. MÉTODO</b> .....	45
3.1 Observações realizadas em campo .....	48
3.1.1 Edificação avaliada no estudo de caso.....	48
3.1.2 Aplicação de questionário aos usuários da edificação.....	53
3.2 Determinação de padrões comportamentais com base no estudo de caso e revisão de literatura .....	54
3.2.1 Usuário passivo .....	54
3.2.2 Usuário ativo.....	56
3.3 Simulações computacionais .....	57
3.3.1 Características dos ambientes simulados .....	58
3.3.2 Simulações do ambiente de iluminação natural ..	63
3.3.3 Simulações do ambiente térmico .....	67
3.4 Tratamento dos dados obtidos na pesquisa.....	71
3.4.1 Avaliação dos questionários.....	71
3.4.2 Avaliação dos dados obtidos com simulação computacional.....	72
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	75
4.1 Análise das respostas levantadas com os questionários .	75
4.2 Cruzamento dos dados levantados com os questionários	88
4.3 Padrões comportamentais observados em campo ...	101
4.4 Avaliação dos dados de consumo energético obtidos com simulação computacional .....	106

<b>5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	123
5.1 Conclusões .....	123
5.1.1 Criação de padrões de comportamento dos usuários .....	110
5.1.2 Análise quantitativa da influência do comportamento dos usuários no consumo energético de edificações comerciais.....	125
5.2 Considerações finais .....	129
5.2.1 Limitações da pesquisa.....	129
5.2.2 Sugestões para trabalhos futuros .....	116
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	131
<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS USUÁRIOS</b> .....	138
<b>APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PELO MÉTODO DOS LÚMENS</b> ..	141
<b>APÊNDICE C – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS APLICADOS AOS USUÁRIOS</b> .....	142
<b>APÊNDICE D – CRUZAMENTOS ENTRE AS INFORMAÇÕES DOS QUESTIONÁRIOS</b> .....	145
<b>APÊNDICE E – DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO DOS MODELOS SIMULADOS</b> .....	152

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Allouhi *et al.* (2015), o setor de edificações é o principal responsável pelo consumo energético e emissões de gases de efeito estufa em âmbito mundial. Embora o consumo já seja alto, EBC (2014) expõe que há preocupação internacional com o rápido e contínuo crescimento no consumo energético das edificações, o que torna clara a necessidade de obtenção de produtos finais energeticamente mais eficientes. No Brasil, a situação não é diferente e as edificações consomem grande parcela da energia elétrica. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2013, as edificações comerciais consumiram 13,8% do total de energia elétrica gerada (BRASIL, 2014).

Diversas estratégias podem ser empregadas visando melhorar o desempenho energético de uma edificação. Uma das estratégias amplamente aceita é o aproveitamento da luz natural no interior das edificações. Gago *et al.* (2015) afirmam que ignorar a iluminação natural em um ambiente construído gera grandes impactos no desempenho energético da edificação, pois o aproveitamento da iluminação natural implica em redução de consumo com iluminação artificial. Assim, os autores expõem a necessidade de controlar de maneira adequada a penetração de luz natural nas edificações. Afinal, caso a edificação apresente áreas envidraçadas que sejam mantidas obstruídas, não haverá aproveitamento de luz natural e, em contrapartida, não haverá redução de consumo com iluminação artificial.

Quanto ao controle da admissão da luz natural nos ambientes, pode-se afirmar que os elementos internos de sombreamento configuram uma estratégia importante no aproveitamento da iluminação natural em momentos oportunos. Acredita-se que, principalmente em edificações comerciais, cujos horários de funcionamento são, em sua maioria, diurnos, aproveitar a luz natural no ambiente de forma correta é imprescindível para a obtenção de edificações energeticamente mais eficientes. Entretanto, um elemento de sombreamento interno é ajustado – ou não – pelos ocupantes do ambiente e, deste modo, sua influência no desempenho energético de edificações pode ser variável.

Foster e Oreszcyn (2001) afirmam que os projetistas seguem as suposições de que a maioria dos ocupantes prefere grandes áreas de janela em seus escritórios e usam os elementos internos de sombreamento para obstruir as janelas em dias ensolarados visando reduzir o ofuscamento, e desobstruir em dias nublados de forma a permitir aproveitamento de luz natural sem excesso de radiação solar no plano de trabalho. Entretanto, tais suposições não convergem com as observações realizadas em ambientes reais e ocupados, pois a maioria dos usuários tende a manter as janelas obstruídas por longos períodos. Assim, pode-se concluir que, embora os edifícios contemporâneos possuam fachadas envidraçadas, os benefícios do ponto de vista energético, pelo aproveitamento de luz natural, não são alcançados. Afinal, o ajuste dos elementos internos de sombreamento visando melhor aproveitamento da luz natural depende do comportamento do usuário no ambiente construído.

O comportamento humano é dividido em dois grupos. O primeiro deles, de natureza intrínseca, consiste em reações às diversas situações cotidianas. O segundo é condicionado às individualidades, isto é, depende das experiências que a pessoa adquire ao longo da vida. O comportamento humano referente a interações para adequação de condições em um ambiente construído pode ser inserido no segundo grupo (BONTE; THELLIER; LARTIGUE, 2014). Deste modo, quando se trata de interações de usuários com edificações, é importante avaliar diversos cenários de comportamento, considerando que as atitudes são extremamente singulares e praticamente impossíveis de serem generalizadas. A literatura demonstra que a influência do comportamento dos usuários no desempenho energético de edificações é inquestionável. Tem-se que as interações com os elementos internos de sombreamento configuram grande potencial de otimização de consumo. Diversos estudos têm mostrado os padrões de interação dos usuários com elementos de sombreamento e/ou seus impactos no desempenho energético de edificações.

Wymelenberg (2012) afirma que, apesar de não haver um consenso sobre os motivos que acarretam a interação dos usuários com os elementos de sombreamento, sabe-se que é necessário mais precisão nas predições de consumo em

# 1. INTRODUÇÃO

edificações. Afinal, a posição e operação dos elementos de sombreamento afetam os níveis de luz natural e transferência de calor para o interior, e ambos influenciam no desempenho energético do edifício em questão. Deste modo, os consumos estimados, caso não se considere as interações dos usuários com os elementos de sombreamento, podem apresentar erros grosseiros em relação aos consumos medidos durante a ocupação.

Bonte, Thellier e Lartigue (2014) avaliaram os impactos das ações dos usuários (considerando diversas questões, dentre elas a operação dos elementos de sombreamento) no desempenho energético das edificações e na sensação térmica dos ocupantes. A pesquisa foi realizada por meio de simulações computacionais com o programa *TRNSYS 17*. Os autores concluíram que a variação no consumo energético considerando os usuários foi maior que 45% em relação aos modelos sem ocupação. Além disso, o uso de elementos de sombreamento está entre os fatores mais impactantes tanto no desempenho energético quanto na sensação térmica dos ocupantes. Foster e Oreszczyn (2001) monitoraram as interações dos usuários com as venezianas internas em edificações de escritório de Londres. Os autores concluíram que, embora os edifícios contemporâneos possuam grandes áreas envidraçadas, há pouca redução de consumo pelo aproveitamento da luz natural, dado que as aberturas tendem a ser obstruídas por elementos de sombreamento. Haldi e Robinson (2010) analisaram, por meio de monitoramento em uma edificação localizada em Lausanne, Suíça, as ações adaptativas nos elementos de sombreamento apresentadas pelos usuários em resposta aos estímulos visuais no ambiente. Os autores criaram um modelo de predição das ações dos usuários frente aos elementos de sombreamento, dada a influência dessas interações no desempenho energético dos edifícios. Zhang e Barrett (2012) avaliaram os fatores que influenciam as interações dos usuários com elementos de sombreamento em uma edificação de escritório naturalmente ventilada localizada em Sheffield, no norte da Inglaterra. Os autores aplicaram questionários aos usuários para entender melhor os motivos das interações com os elementos internos de sombreamento. Como principal conclusão, apresentaram que o

excesso de radiação solar no plano de trabalho pode ser entendido como um limiar de interação dos usuários com os elementos de sombreamento. Entretanto, mostraram que este não é o único fator que implica em ajuste dos elementos de sombreamento. Com os questionários, os autores mostraram que 70% dos usuários relataram algum grau de dificuldade na interação com os elementos internos de sombreamento, o que pode contribuir para comportamentos mais passivos, onde os usuários só ajustam o ambiente em casos de extremo desconforto.

Nesse contexto, tendo em vista a influência dos diferentes padrões de interação com os elementos internos de sombreamento no desempenho energético de edificações, surgiu a necessidade de avaliar os resultados de interações de diferentes usuários no desempenho energético de edificações comerciais de Florianópolis-SC.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é avaliar a influência da interação dos usuários com elementos internos de sombreamento na eficiência energética de edificações comerciais situadas em Florianópolis-SC.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Ao término desta pesquisa, pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Conhecer os principais aspectos e motivos das interações de usuários de edificações de escritório com os elementos internos de sombreamento;
- Criar padrões de comportamento de usuários em relação à operação dos elementos internos de sombreamento por meio de avaliações realizadas em campo e revisão de literatura;



# 1. INTRODUÇÃO

- Avaliar a eficiência energética de edificações com diferentes áreas de janela, orientações e geometrias, ocupadas por usuários com os perfis de comportamento criados.

## 1.2 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos e possui cinco apêndices.

O primeiro capítulo traz a introdução do assunto estudado. Nele foi apresentada a importância da integração da luz natural nos sistemas de iluminação das edificações e a influência do comportamento dos usuários na admissão da luz natural e, consequentemente na eficiência energética dos edifícios. Os objetivos geral e específicos foram definidos.

No segundo capítulo é apresentada revisão de literatura referente aos temas que norteiam a pesquisa. Ele está dividido em cinco tópicos: iluminação natural; comportamento do usuário; elementos internos de sombreamento; programas de simulação computacional, que aborda os programas *Daysim* e *EnergyPlus*, algoritmos utilizados no *plug-in* DIVA 4.0; e o último tópico traz uma síntese crítica da revisão apresentada, apontando alguns direcionamentos à pesquisa.

O terceiro capítulo detalha o método aplicado para alcançar os objetivos da pesquisa. O método consiste em quatro etapas: realização de observações em campo a respeito do comportamento de usuários por meio de aplicação de questionários; determinação de padrões comportamentais a partir das observações realizadas; detalhamento das simulações computacionais; por fim, é apresentado o tratamento dos dados obtidos com a realização desta pesquisa.

No quarto capítulo são apresentados os resultados e discussões obtidos com a aplicação do método proposto. Nele, são analisadas as respostas dos questionários, discutidos os padrões de comportamento dos usuários e, por fim, avaliados os dados de consumo energético obtidos por meio de simulação computacional.

O último capítulo apresenta as conclusões e considerações finais desta pesquisa. Assim, são apresentados os padrões de comportamento criados e as análises quantitativas a respeito da influência dos mesmos na eficiência energética de edificações. Além disso, são apresentadas as limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

A pesquisa possui cinco apêndices. O primeiro deles é referente ao questionário aplicado a usuários de edificações comerciais de Florianópolis-SC. O segundo apêndice mostra os parâmetros utilizados para o dimensionamento do sistema de iluminação artificial dos modelos simulados. O terceiro e o quarto apêndices são referentes aos resultados obtidos com a aplicação dos questionários. O quinto apêndice mostra os dados de consumo obtidos com as simulações computacionais de cada caso avaliado.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão sobre os conceitos que servem como base à pesquisa. Foram revisados estudos que avaliam os seguintes aspectos: iluminação natural, comportamento do usuário, elementos de sombreamento e programas de simulação computacional.

### 2.1 Iluminação natural

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a luz solar direta ilumina uma superfície normal com 60.000 a 100.000 lux, um valor muito elevado para ser utilizado diretamente sobre o plano de trabalho. Além de questões ligadas ao conforto visual, a luz natural acrescenta carga térmica aos edifícios. Estas informações podem levar projetistas a minimizarem o uso de luz natural nas edificações, considerando-a indesejável pelo aspecto térmico que representa. Entretanto, de acordo com Didoné e Pereira (2010), a utilização excessiva de sistemas de iluminação artificial em edificações contemporâneas é responsável por grande parcela do consumo energético das mesmas. Medidas simples, como inserção de iluminação e ventilação naturais, podem reduzir o consumo energético desses edifícios. Se integrada de maneira correta, a iluminação natural pode representar economia de energia com a redução do uso de sistemas artificiais de iluminação que, além de demandarem energia para seu funcionamento, podem representar acréscimo de carga térmica nos edifícios, implicando em maior consumo energético com sistema de resfriamento.

A inserção da luz natural nos projetos de edificações é justificável principalmente pela sua disponibilidade ao longo do dia. Em edificações não residenciais, cujos horários de funcionamento são, em sua grande maioria, diurnos, empregar iluminação natural torna o ambiente mais eficiente, além de contribuir com condições de conforto visual. A luz natural pode penetrar ambientes internos através de aberturas, conferindo sensação de maior amplitude e permitindo uma dinâmica que não

pode ser encontrada em outros tipos de iluminação (LOPES, 2006).

Li (2010) classifica a iluminação natural como uma estratégia importante na obtenção de edificações energeticamente eficientes. Além do aspecto de redução no consumo energético por iluminação artificial, inserir luz natural no interior dos ambientes propicia melhores condições de conforto visual, criando um ambiente mais atrativo para os ocupantes e impactando positivamente no desempenho de suas atividades. A vista para fora obtida com o emprego de elementos transparentes – responsáveis por permitir a penetração de luz natural ao interior dos edifícios – é de extrema importância e a maior parte dos usuários sente-se mais satisfeita quando ocupa lugares mais próximos às aberturas. Deste modo, considerando a importância no bem-estar dos ocupantes e o impacto positivo no desempenho energético pela redução de carga de iluminação artificial, empregar iluminação natural é imprescindível na obtenção de edificações mais eficientes.

A pesquisa de Li (2010) consistiu em revisão de fatores relacionados à penetração de luz natural e sua implicação no desempenho energético de edificações. No estudo, mostrou-se a importância da luz natural na obtenção de edificações mais eficientes, bem como métodos de controle de iluminação artificial e sua influência no desempenho energético do edifício. Como conclusão, é exposta a importância da utilização da luz natural como ferramenta de projeto para edifícios mais eficientes, que deve ser meta tanto para profissionais da construção civil como pesquisadores que tratem deste tema.

Em edificações, é possível avaliar o potencial de aproveitamento de luz natural (PALN) resultante de diferentes métodos de controle de iluminação. O PALN está diretamente relacionado à redução de consumo energético quando o sistema de iluminação da edificação integra luz natural e artificial. Souza (2003) avaliou o potencial de aproveitamento de luz natural pela utilização de sistemas automáticos de controle de iluminação. No estudo, foram analisadas 63 salas localizadas em Florianópolis-SC, por meio de simulação computacional com o programa LuzSolar. Os modelos avaliados possuíam largura fixa de 6 m com profundidade variável de 4 a 10 m. As janelas foram variadas em

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

três situações: única, dupla e total; considerando iluminações unilateral, oposta e adjacente. O autor empregou três estratégias de controle da iluminação artificial: liga/desliga simultaneamente todas as lâmpadas do sistema de iluminação, liga/desliga individualmente as lâmpadas do sistema de iluminação e controle *dimmerizável*. Então, o PALN foi avaliado visando estimar a quantidade de energia economizada com o aproveitamento da luz natural. Como resultados, constatou-se que controles automatizados podem resultar em potenciais de aproveitamento de luz natural de até 87%. Comparando as diferentes formas de controle, com a estratégia que permite ligar/desligar parcialmente o sistema de iluminação artificial, tem-se um acréscimo de 9 pontos percentuais sobre o PALN da estratégia que só permite ligar/desligar o sistema completo. Além disso, o controle *dimmerizável* apresenta um acréscimo de 15 pontos percentuais sobre o PALN da estratégia liga/desliga do sistema de iluminação completo.

É possível avaliar a influência de parâmetros de iluminação natural e seus impactos na economia de energia em edificações, como foi realizado por Acosta *et al.* (2015). Os autores empregaram simulação computacional no programa *Daylight Visualizer 2.6*, considerando condições de céu nublado. Foram simulados modelos de dimensões constantes (3,00 m x 6,00 m x 3,00 m de altura) com variações na área de janela (10%, 20%, 30%, 40%, 60% e 80%). Além disso, também foram variados os formatos das janelas: janelas quadradas, horizontais e verticais. Os autores concluíram que a penetração de luz natural é diretamente proporcional à área de abertura da fachada, com exceção às áreas muito próximas das aberturas. As janelas localizadas em posições mais altas na fachada mostraram-se mais eficientes na distribuição de luz natural às posições mais distantes, quando comparadas às janelas centralizadas na fachada. Por fim, os autores apresentaram a influência na redução do consumo com iluminação artificial provocado pela integração da iluminação natural à artificial. Usando como base de comparação o consumo energético nos modelos com janelas quadradas, os que possuem janelas horizontais apresentam redução do consumo de luz artificial próxima de 2%. Quando empregadas janelas verticais, a redução média de consumo fica próxima de 8%.

Considerando as vantagens da aplicação da iluminação natural em ambientes construídos, é possível encontrar na literatura estudos que quantificam o potencial de economia energética resultante da integração de luz natural à artificial em edificações.

Ghisi e Tinker (2005) criaram um método de simulação computacional para avaliar o potencial de redução no consumo energético em ambientes com integração de iluminação natural e artificial. Com ele, os autores obtiveram áreas ideais de janelas considerando diferentes dimensões e variação das orientações da fachada, em condições climáticas de duas cidades: Leeds, no Reino Unido, e Florianópolis, no Brasil. No estudo, foram avaliados, com auxílio do programa *VisualDOE*, modelos com cinco geometrias: 2:1, 1,5:1, 1:1, 1:1,5 e 1:2, com o intuito de comparar a variação entre a disponibilidade de luz natural no plano de trabalho de salas rasas e profundas. Alguns parâmetros foram variados nas simulações por se tratarem de cidades distintas. No caso de Leeds, assumiu-se temperaturas de *setpoint* de 23°C para resfriamento, no verão, e 20°C de aquecimento, para o inverno; ocupação das 9h às 17h. Para Florianópolis, assumiu-se temperatura de *setpoint* de 24°C para resfriamento, no verão, e sem aquecimento no inverno; a ocupação foi inserida das 8h às 12h e das 14h às 18h. Em ambas as cidades simuladas, considerou-se o sistema de iluminação artificial e os equipamentos funcionando nos mesmos períodos da *schedule* de ocupação do ambiente.

Como conclusões, Ghisi e Tinker (2005) expõem que salas menores possuem melhor desempenho energético devido ao maior percentual de abertura em relação à área de piso. Salas com maiores larguras também apresentam maiores níveis de economia energética. Os potenciais de economia de energia foram apresentados para expor a tendência de economia energética com iluminação para os menores índices de ambiente (K). Com as simulações, os autores obtiveram áreas ideais de janela para cada uma das variações realizadas no modelo e seus respectivos potenciais de economia de energia com iluminação. Estes potenciais variaram de 10,8 a 44,0% para Leeds, e de 20,6 a 86,2% para Florianópolis. De maneira geral, as áreas ideais de

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

janelas tendem a ser maiores nas orientações que resultem em menor incidência de radiação solar na fachada envidraçada.

Didoné e Pereira (2009) avaliaram, por meio de simulação computacional, o potencial da luz natural na economia de energia elétrica consumida pelo sistema de iluminação artificial. No estudo, foram avaliados ambientes de escritórios localizados em Florianópolis-SC e climatizados artificialmente por meio de simulações integradas entre os programas *Daysim* e *EnergyPlus*. Quanto à iluminação, optou-se por um sistema artificial *dimmerizável* para garantir a integração da iluminação natural à artificial. Por se tratar de edificações comerciais, o período de ocupação analisado variou das 8h às 18h, com horário de intervalo das 12h às 14h. Foram simulados modelos com três profundidades diferentes (4 m, 8 m e 16 m), três áreas de janela (25%, 50% e 75%), dois fatores solares para os vidros (0,82 e 0,23), duas variações para os ângulos de proteção da área envidraçada (0 e 45°) e as quatro orientações (norte, sul, leste e oeste). Todos os modelos foram considerados com pé direito de 2,70 m, além de um quarto modelo que foi avaliado com pé direito de 3,50 m para avaliar a influência da altura do ambiente na distribuição da iluminação natural.

Como resultados, Didoné e Pereira (2009) expõem que os modelos com aberturas orientadas a sul apresentam os menores índices de autonomia de iluminação natural, enquanto a orientação norte é a que apresenta os maiores valores de autonomia de iluminação natural. Quanto à integração da iluminação natural à artificial, obteve-se uma redução de até 50% no consumo energético dos modelos, quando comparados aos que empregam iluminação artificial durante todo o período de simulação. Além disso, a influência da iluminação natural no consumo energético também pode ser avaliada pela autonomia de iluminação natural. Afinal, quanto maior a autonomia de iluminação natural, menor o consumo energético com iluminação artificial. Valores de autonomia de iluminação natural de 0 a 20% implicam em consumo energético entre 15 e 30 kWh/m<sup>2</sup>.ano, enquanto autonomies de iluminação natural superiores a 80% resultam em consumos energéticos menores até que 10 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Fasi e Budaiwi (2015) avaliaram o desempenho energético e critérios de conforto visual em edificações de escritório cuja iluminação é composta pela integração de luz natural e artificial. O estudo, realizado por meio de simulação computacional com o programa *DesignBuilder*, considerou o edifício inserido em clima quente, pois, segundo os autores, propicia que o envelope da edificação contribua para o elevado consumo energético para resfriamento, devido às trocas de calor com o exterior. A justificativa do estudo é que as aberturas nas fachadas podem resultar nos maiores ganhos de calor na envoltória, entretanto, são responsáveis pela penetração de luz natural no interior do edifício. Boa integração de luz natural à artificial pode representar melhor desempenho energético das edificações. Visando avaliar a influência da iluminação natural no desempenho energético de edificações, foram simulados modelos típicos de escritório. Os resultados mostraram que, empregando-se janelas com vidros duplos e considerando integração de luz natural à artificial, o consumo anual de iluminação, de resfriamento e total seriam reduzidos em 70%, 8% e 14%, respectivamente, quando comparados aos consumos de modelos que não utilizam a luz natural. No caso de janelas com vidros duplos de baixa emissividade, a economia energética total de modelos que integram luz natural à artificial em relação aos que não integram chega a 16%.

Com a revisão de literatura referente à aplicação de luz natural em edificações, pode-se concluir a importância da garantia do aproveitamento de luz natural na otimização do desempenho energético das edificações. Nos estudos que quantificaram o potencial de economia energética, foram observadas variações nos métodos empregados, desde as dimensões dos modelos simulados até os programas computacionais utilizados. Entretanto, todos apresentaram resultados satisfatórios quanto à otimização do consumo energético. Souza (2003) apresentou que boa adequação dos sistemas de controle de iluminação artificial pode resultar em aproveitamento de luz natural de até 87%, quando ambas estão integradas. Ghisi e Tinker (2005) obtiveram níveis de economia energética com sistema de iluminação artificial de até 86,2% para Florianópolis. Didoné e Pereira (2009) apresentaram redução de consumo de até 50% nos modelos



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

avaliados. Fasi e Budaiwi (2015) apresentaram níveis de economia energética com o sistema de iluminação artificial de até 70% com a integração da luz natural à artificial. Deste modo, é possível afirmar que a integração da luz natural à artificial pode resultar em níveis de economia energética satisfatórios, contribuindo na obtenção de edificações energeticamente mais eficientes com a aplicação dessa estratégia. Além do aspecto energético, a luz natural apresenta fatores que influenciam positivamente no ambiente construído quando são consideradas questões ligadas ao conforto dos usuários (LOPES, 2006; LI, 2010).

### 2.2 Comportamento do usuário

Janda (2009) expõe que, usualmente, os estudos referentes à eficiência energética em edificações focam nas características físicas dos edifícios como principais responsáveis pelo seu desempenho energético. Entretanto, os usuários apresentam papel fundamental no consumo energético das edificações. Deste modo, além de critérios técnicos, os projetistas precisam trabalhar com os usuários dos edifícios, a fim de promover consumo energético mais consciente, obtendo resultados mais satisfatórios em relação ao consumo. Para isso, é apresentado o importante papel dos profissionais da construção civil na disseminação de informações para os usuários. Apenas mostrando aos usuários seus impactos no consumo energético é possível integrar o envolvimento dos mesmos com o desempenho energético de um edifício de maneira bem sucedida.

Moezzi e Janda (2014) expõem que tentar reduzir o consumo energético de edificações considerando apenas aspectos projetivos e técnicos pode configurar resultados pouco interessantes, dado que o comportamento do usuário apresenta papel fundamental no desempenho energético durante a vida útil das edificações. Os autores sugerem que a obtenção de edificações energeticamente mais eficientes está sujeita à integração do potencial técnico ao potencial comportamental. Isto é, os autores acreditam no potencial social para mudança no cenário de consumo energético atual, onde as pessoas seriam os principais atores nas mudanças de resultados de consumo

energético. Deste modo, o estudo sugere que, por intermédio dos indivíduos, comunidades e organizações, o potencial social na mudança do cenário de consumo energético internacional transcende os potenciais de economia empregando estratégias técnicas.

Na literatura, é possível encontrar estudos que avaliam a influência da presença e interação dos usuários com o ambiente construído no consumo energético dos mesmos.

Bonte, Thellier e Lartigue (2014) realizaram um estudo avaliando o impacto das ações dos usuários no desempenho energético de edificações e na sensação térmica dos mesmos. Para isso, os autores simularam uma única sala de escritório com o programa computacional *TRNSYS 17*, considerando duas realidades climáticas: as cidades de Agen e Nice, ambas na França. Visando compreender melhor a influência dos usuários no desempenho energético do edifício, o estudo foi realizado considerando pontos que impactam no consumo energético em dois cenários, um ótimo e outro péssimo. Isto é, para cada variável, foram assumidas duas realidades, sendo que uma apresenta influência negativa quando comparada à outra. O estudo obteve valores discrepantes de consumo energético com a combinação desses pontos. Quando todos os fatores do cenário de consumo energético mínimo foram combinados, encontrou-se consumo de 14 kWh/m<sup>2</sup>.ano. No cenário de consumo máximo, o resultado obtido foi de 120 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

A pesquisa de Bonte, Thellier e Lartigue (2014) avaliou seis ações relacionadas ao consumo energético e sensação térmica de ocupantes em um ambiente de escritório: operação de elementos internos de sombreamento, sistema de iluminação, janelas, temperatura de *setpoint* do sistema de resfriamento, ventiladores e ajuste de isolamento de vestimentas. Os resultados classificam a temperatura de *setpoint* como o principal responsável pelas variações no consumo energético. Além disso, a operação dos elementos internos de sombreamento mostrou-se impactante no consumo energético. De acordo com os autores, ela pode aumentar o consumo energético em até 20% considerando a média entre dois cenários, um com as cortinas fechadas durante o ano todo, e outro com elas sempre abertas. O estudo mostrou que a operação dos ventiladores e os ajustes de

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

vestimenta não possuem ligação direta na variação do desempenho energético dos edifícios. Entretanto, eles podem impactar na sensação térmica dos ocupantes.

Os resultados de Bonte, Thellier e Lartigue (2014) mostram que, caso os ocupantes estejam expostos a situações de desconforto, haverá interação com o ambiente com o intuito de adequá-lo a fim de reduzir, ou sanar, a sensação. Essas interações serão impactantes no desempenho energético do edifício. Deste modo, aplicar estratégias que visem conforto térmico ainda na fase de projeto pode ser um mitigador das discrepâncias encontradas entre o consumo estimado por meio de simulações em fase de projeto, considerando que as interações dos usuários com o ambiente sejam desconsideradas, e o consumo mensurado pós-ocupação.

Hoes *et al.* (2009) avaliaram o comportamento de usuários em simulações de edificações inteiras. De acordo com os autores, os usuários podem representar duas características diferentes nas simulações de desempenho energético de edificações: presença e interação. Diferentes tipologias de edificações resultam em diferentes pesos dessas características. Edificações escolares ou museus possuem grandes cargas térmicas com presença de usuários, entretanto os mesmos dificilmente vão interagir com sistemas que impliquem em variação no consumo energético. Enquanto edificações de escritório, por exemplo, tendem a apresentar valores menores de presença de usuários, porém com interações mais constantes. A avaliação realizada foi conduzida por simulação computacional. Cinco modelos de edificações foram testados considerando a presença de usuários: valores médios para inércia térmica e abertura na fachada; baixa inércia térmica e pequena abertura na fachada; baixa inércia térmica e grande abertura na fachada; alta inércia térmica e pequena abertura na fachada; e alta inércia térmica e grande abertura na fachada.

Hoes *et al.* (2009) concluíram que o modelo com baixa inércia térmica e grande abertura na fachada é o mais resistente às ações dos usuários. Esta relação é devida à grande influência que o clima externo tem sobre o desempenho energético do modelo, dado que as trocas térmicas são intensas pelas condições do envelope. O modelo com alta inércia térmica e pequena abertura na fachada teve seu desempenho energético pouco

influenciado pelo clima externo. Neste caso, as interações dos usuários apresentaram grande influência no desempenho energético do modelo simulado.

De acordo com O'Brien (2013), as edificações são concebidas para, em primeira análise, abrigar e, em segundo plano, promover altos níveis de conforto aos usuários. Para isso, diversos dispositivos podem ser inseridos em edificações visando adequações do ambiente para a obtenção de conforto, tais como: janelas operáveis, sistema de iluminação artificial, elementos internos e externos de sombreamento. Os vários sistemas inseridos em edifícios possuem, em geral, as funções de evitar desconforto, como o ofuscamento causado pela luz natural em momentos específicos do dia; adaptar o ambiente para usos variados, como apresentações com projetor; e adaptar o ambiente para as diferentes preferências dos usuários que a ocupam.

O'Brien (2013) afirma que o comportamento dos usuários nas edificações é uma incerteza na predição de consumo energético. Entretanto, o cenário pode ser mudado a partir do momento em que os usuários passarem a se comportar de maneira menos intensa em quesitos relacionados ao consumo energético nas edificações que ocupam. De acordo com o autor, a mudança de hábitos dos usuários não pode ser conduzida policiando suas atitudes no ambiente construído, pois a concepção de edifícios mais confortáveis contribuiria na melhora dos padrões comportamentais dos usuários. O estudo foi conduzido com simulação termoenergética no *EnergyPlus*. Para isso, uma edificação de escritório com dimensões de 3 m x 3 m x 3 m, com orientação sul, foi avaliada. Como conclusões, o autor expõe que simulações que não considerem a presença e interações de usuário de maneira precisa podem resultar em escolhas de alternativas projetivas pouco viáveis. Entretanto, aplicar estratégias passivas, como elementos de sombreamento fixos, que melhorem as condições de conforto no ambiente construído, podem reduzir as incertezas com as interações de usuários e melhorar o desempenho energético das edificações.

Com a revisão de literatura referente à influência do comportamento dos usuários no desempenho energético de edificações, confirmou-se o papel fundamental dos projetistas e atores da construção civil na conscientização dos ocupantes de

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

edificações quanto ao seu potencial de otimização de consumo energético (JANDA, 2009; MOEZZI; JANDA, 2014). Deste modo, entende-se a necessidade do conhecimento científico produzido ser apresentado para os demais profissionais da construção civil e usuários de edificações, de modo que a disseminação do conhecimento resulte em edificações energeticamente mais eficientes. Quanto às variações de consumo energético nas simulações que consideram a presença e interação de usuários, o estudo de Bonte, Thellier e Lartigue (2014) apresentou dois cenários extremos do ponto de vista do consumo energético. Acredita-se que avaliações extremas resultem em grandes incertezas, dado que a combinação de todos os fatores considerados péssimos seja tecnicamente improvável. Deste modo, é importante considerar cenários intermediários de comportamento dos usuários para que mais análises possam ser realizadas com os resultados.

Hoes *et al.* (2009), ao concluírem que edificações com baixa inércia térmica e grandes aberturas são menos influenciadas pelo comportamento dos usuários podem estar mascarando o real impacto que os usuários possuem na baixa eficiência energética das edificações. É importante a conscientização dos usuários para que, mesmo em edificações que apresentem grandes trocas térmicas com o ambiente exterior, seus comportamentos no ambiente construído não resultem em desempenhos energéticos catastróficos. Nesse sentido, a ponderação de O'Brien (2013) é pertinente no que se refere à aplicação de estratégias passivas que melhorem o conforto nas edificações, pois usuários em sensação de conforto, como sugere a literatura, tendem a não ajustar o ambiente e minimizar seu impacto no desempenho energético dos edifícios.

### 2.3 Elementos internos de sombreamento

Diversas pesquisas tratam da influência dos elementos de sombreamento no desempenho energético das edificações. Neste estudo, buscou-se tratar, especificamente, da influência da interação dos usuários com esses elementos internos na eficiência energética de edifícios.

Wymelenberg (2012) apresentou uma revisão de literatura sobre os padrões de interação dos ocupantes com elementos de sombreamento. No estudo, o autor mostra que, além da posição dos elementos, o padrão de uso apresentado pelos ocupantes influencia no desempenho energético dos edifícios. Portanto, desconsiderar esses fatores nas simulações pode resultar em dados pouco verossímeis de consumo energético e ganhos de iluminação natural. Foram revisadas diversas publicações que tratam sobre a operação dos elementos de sombreamento. Ao todo, foram analisados dados de mais de 50 edifícios de todo o mundo.

Com a pesquisa, Wymelenberg (2012) concluiu que os ocupantes interagem com os elementos de sombreamentos quando estão se sentindo desconfortáveis, tanto com o ambiente visual quanto com o térmico. Entretanto, fatores menos explorados como busca por privacidade e a qualidade da vista para o exterior também podem influenciar. Nas 50 edificações cujos percentuais de obstrução foram estudados, verificou-se que orientação, condições do céu, estação, hora do dia, qualidade da vista para o exterior e tipo do sistema de resfriamento foram listados como influenciadores na interação entre os usuários e os elementos de sombreamento. Entretanto, as influências mais consistentes são a orientação e as condições de céu, apresentadas como fatores importantes na interação dos usuários com elementos de sombreamento.

De maneira geral, a revisão apresentada por Wymelenberg (2012), apesar de sugerir um valor limiar para a interação de usuários com elementos internos de sombreamento, sugere que diversos fatores influenciam na interação dos usuários com elementos internos de sombreamento. Deste modo, é importante empregar algum tipo de avaliação em ambientes reais, como a aplicação de questionários, para entender se fatores subjetivos estão influenciando nas atitudes dos usuários.

Alguns estudos são baseados em monitoramentos dos ajustes dos elementos internos de sombreamento em edifícios reais.

Foster e Oreszczyn (2001) estudaram o controle de venezianas internas por usuários de edificações de escritório naturalmente ventiladas localizadas no centro de Londres. Para

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

isso, foram realizados monitoramentos, por meio de filmagens, dos ajustes dos elementos de sombreamento no verão e inverno. Intuitivamente, assumiu-se que, durante períodos nublados ou chuvosos, as aberturas não estariam obstruídas pelos elementos internos de sombreamento. Ao contrário disso, em períodos ensolarados, quando resfriamento interno e proteções solares são necessários, os elementos de sombreamento estarão obstruindo as aberturas e ajudando na proteção contra a incidência solar. Entretanto, como o controle de elementos não automatizados depende de usuários, algumas suposições podem ser invalidadas pela variação comportamental dos mesmos. Predizer o modo que os usuários irão operar os elementos de sombreamento é complexo, afinal diversos fatores podem influenciar nisso. A busca por privacidade pode fazer com que os usuários mantenham as cortinas sempre fechadas, mesmo em dias com pouca incidência solar. Em alguns casos, operar os elementos de sombreamento pode ser difícil, e isso desmotiva os usuários a modificá-los. Nesses casos, os mesmos são operados apenas em situações de extremo desconforto.

Os resultados do estudo de Foster e Oreszczyn (2001) mostraram que a hipótese de que os ocupantes operam os elementos de sombreamento visando reduzir o ofuscamento em dias ensolarados e aumentar a penetração de luz natural em dias nublados pode ser desconsiderada. Afinal, o estudo concluiu que a maioria dos usuários mantém as janelas obstruídas durante todo o período, o que dificulta a predição de ações prováveis dos ocupantes, tendo em vista que cada um interage considerando fatores individuais, e, portanto, a generalização pode resultar em estimativas de consumo energético pouco confiáveis. Além disso, os autores encontraram uma forte relação entre os ajustes dos elementos de sombreamento e a orientação do edifício.

Haldi e Robinson (2010) estudaram as ações adaptativas nos elementos de sombreamento em resposta aos estímulos visuais no ambiente em uma edificação localizada em Lausanne, Suíça. Para isso, os autores coletaram dados de operação de elementos de sombreamento durante seis anos e empregaram tratamento estatístico a fim de determinar um modelo de operação dos elementos de sombreamento pelos usuários, tomando por base a probabilidade desses elementos estarem abertos ou

fechados durante a ocupação dos ambientes. Para quantificar de maneira mais precisa, avaliaram as ações dos ocupantes em três períodos do dia: durante a chegada, em um período intermediário e na partida. Os pesquisadores criaram um modelo probabilístico visando estimar a operação dos elementos de sombreamento. A validação foi realizada comparando-se os dados simulados a partir dele com as informações coletadas em campo. Nas considerações do estudo, os pesquisadores avaliaram as temperaturas interna e externa do telhado, a iluminância no plano horizontal de trabalho, a iluminância horizontal exterior, bem como a irradiação horizontal exterior direta e difusa, a ocupação do ambiente e a posição dos elementos de sombreamento, que foram divididos em superiores e inferiores, dado que o ambiente possui janelas nessas duas posições.

Nos resultados, Haldi e Robinson (2010) mostram diferenças expressivas quando se comparam as ações de obstrução e desobstrução das janelas inferiores. Tem-se que, do total de interações com a intenção de obstruir as janelas, 10,4% resultam em obstruções completas, enquanto 89,6% resultam em obstruções parciais. Enquanto para as desobstruções, as interações com esse intuito são bem mais frequentes para se desobstruir completamente (66,8%), contra 33,2% de interações que visam desobstruir parcialmente. Dos resultados, pode-se concluir que, apesar de interagirem sempre que se sentem desconfortáveis, os ocupantes têm grande preferência por janelas completamente desobstruídas quando comparadas às completamente obstruídas.

Além de observações em campo e monitoramentos dos elementos de sombreamento, alguns estudos empregam questionários para entender como os usuários ajustam os elementos internos de sombreamento.

Zhang e Barrett (2012) avaliaram os fatores que influenciam na operação dos elementos de sombreamento internos em uma edificação de escritório ventilada naturalmente e localizada em Sheffield, no norte da Inglaterra. A avaliação foi realizada relacionando respostas de questionários aplicados aos usuários a fim de avaliar suas preferências a medições das obstruções das janelas, realizadas por registros fotográficos. Na análise dos elementos de sombreamento, que são constituídos



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

por aletas horizontais, foram consideradas cinco posições verticais das venezianas e duas posições das pás considerando o ângulo de fechamento. A combinação dessas duas variáveis resultou em um índice de obstrução, usado para avaliar o ambiente. Os resultados mostraram que, em dias mais nublados, os elementos de sombreamento não são erguidos pela dificuldade que os usuários têm em operá-los. Além disso, como o estudo foi realizado no hemisfério norte, tem-se que, na fachada norte, os elementos tendem a ficar mais tempo erguidos, o que indica insatisfação com o brilho excessivo presente nas outras fachadas. Quanto ao momento do dia, pode-se afirmar que não possui muita influência nas interações, já que os usuários tendem a realizá-las apenas uma vez durante o dia.

No estudo, Zhang e Barrett (2012) aplicaram as seguintes questões aos usuários das edificações:

- A vista para fora aumenta o valor desse ambiente?
- Você prefere estar sentado próximo à janela?
- O brilho intenso afeta seu trabalho nessa sala?
- Quando você usa venezianas, é fácil ajustá-las da maneira que te agrada?

De maneira geral, Zhang e Barrett (2012) concluíram, com os questionários, que a vista para o exterior chega a representar 70% da preferência dos usuários; mais de 70% deles preferem estar sentados próximos à janela, pelo menos, às vezes; em torno de 60% dos usuários sentem-se incomodados com o brilho, às vezes ou raramente; e em torno de 70% relataram algum grau de dificuldade em operar os elementos de sombreamento. Com a pesquisa, os autores também concluíram que a altitude solar possui correlação com a operação dos elementos de sombreamento. Quanto menor a altitude solar, mais janelas estarão obstruídas. Deste modo, tem-se que o efeito da estação é considerável quando analisado concomitantemente às variações de orientação de fachada. Ao término, os autores mostraram que a insatisfação com o ambiente visual é um grande ponto motivador para as interações com os elementos de sombreamento, e julgam que o excesso de radiação solar no plano horizontal de trabalho

pode ser estimado como um limiar para a operação dos elementos de sombreamento dos escritórios.

Além de questionários e medições em campo, a literatura apresenta métodos de avaliação da influência dos elementos internos de sombreamento empregando simulação computacional e quantificando os consumos.

Rocha e Pereira (2011) avaliaram o consumo energético de edificações considerando a luz natural por meio de simulação computacional. Para isso, os autores realizaram simulações integradas nos programas computacionais *Daysim* e *EnergyPlus*, empregando arquivo climático TRY de Florianópolis-SC. Na avaliação, foi mensurado o consumo energético de um modelo de planta quadrada com 8 m de lado e 2,70 de pé direito, e 50% de abertura na fachada norte e condicionado artificialmente. Considerou-se o ambiente ocupado por diferentes perfis de usuários, os ativos e os passivos. Os ativos são os que interagem com os elementos de sombreamento e com o sistema de iluminação, enquanto os passivos tendem a ajustar pouco o ambiente de trabalho. Como resultados, os autores concluíram que o usuário passivo resultou em influências negativas no desempenho energético da iluminação natural no ambiente. De maneira geral, o ambiente ocupado por usuários passivos teve consumo duas vezes maior em relação ao ambiente cuja ocupação foi feita por usuários ativos. O uso de sistemas automatizados de controle de iluminação artificial que integram luz natural no ambiente resultou em economia de energia com iluminação artificial e, conseqüentemente, com resfriamento do ambiente.

Gunay *et al.* (2014) desenvolveram um conceito de controle automatizado dos elementos de sombreamento e do sistema de iluminação que se adapta às preferências dos usuários. Os autores criaram um ambiente de escritório no *EnergyPlus* a fim de simular a influência da operação dos elementos de sombreamento e, conseqüentemente, do sistema de iluminação no desempenho energético do edifício. Foram comparados três modelos de controle dos elementos de sombreamento e do sistema de iluminação artificial. O primeiro deles é controle manual, tanto para os elementos de sombreamento quanto para a iluminação. O segundo trata de

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

controles automatizados para ambos os casos. E o último é um controle automático, porém com a capacidade de adequar-se às preferências dos usuários. Isto é, a cada interação que os usuários fizerem para modificar o ambiente, os dados vão sendo armazenados, configurando uma base de dados que ajuda a controlar o ambiente e atender às expectativas dos ocupantes.

Como resultados, Gunay *et al.* (2014) provaram que, comparando-se o consumo energético dos diferentes métodos de controle, tem-se desempenho parecido no sistema manual e no automático com *setpoints* fixos. Quanto ao número de interações com os elementos de sombreamento, tem-se redução significativa quando se opta por sistema automatizado com *setpoints* fixos, em relação ao sistema de adequação manual. Entretanto, o sistema automatizado que armazena as preferências dos usuários mostrou-se energeticamente mais eficiente, além de necessitar poucas interações dos usuários. Comparando-se o consumo em cada uso final (iluminação, aquecimento e resfriamento), tem-se maior consumo energético quando se emprega um sistema automático com *setpoints* fixos. Quando se emprega o sistema automatizado que armazena as informações de preferência dos usuários o consumo com iluminação é reduzido, e os de resfriamento e aquecimento são mantidos próximos dos outros sistemas. Além disso, foi constatada grande redução no número de interações, tendo em vista que, com o passar do tempo, as interações vão configurando os limites de ajustes e o sistema passa a se adequar às preferências já registradas.

Com a revisão dos trabalhos que estudaram a operação de elementos internos de sombreamento, é possível encontrar diversos fatores que implicam em ajuste dos mesmos. Além disso, os estudos mostram que, em diversos casos, os elementos internos de sombreamento não são ajustados, e isso também se deve a diversos fatores. Em torno de 35% dos elementos de sombreamento não são adequados nunca, e apenas 5% deles são adequados mais de uma vez por dia (WYMELENBERG, 2012). Muitas vezes, a interação com elementos internos de sombreamento em ambientes compartilhados não é feita por receio de perturbar os colegas de sala, pois alguns usuários podem reclamar de ofuscamento caso as janelas não estejam 100% obstruídas (FOSTER; ORESZCYN, 2001). Portanto,

acredita-se que a integração de métodos apresentados nesta revisão é interessante, tendo em vista que um pode suprir uma deficiência de outro. Deste modo, empregar simulação computacional para avaliar o desempenho energético de edificações considerando a ocupação dos usuários é satisfatório, desde que sejam aplicados questionários ou realizados monitoramentos para conhecer de maneira mais precisa os motivos que implicam em ajuste dos elementos internos de sombreamento.

## 2.4 Programas de simulação computacional

A avaliação do desempenho termoenergético de edificações por meio de simulação computacional é uma tarefa complexa, pois envolve diversas variáveis independentes e conceitos multidisciplinares. Entretanto, o resultado é satisfatório, tendo em vista a possibilidade de desenvolver modelos computacionais que representam o comportamento térmico, luminoso e energético de edificações (MENDES *et al.*, 2005).

Nesta seção, serão apresentados estudos que empregaram simulações com os programas escolhidos para realização desta pesquisa.

### 2.4.1 *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é um programa criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), mais precisamente pelo Escritório de Tecnologia de Edificações (BTO). Com ele, é possível simular tanto o desempenho energético de edificações (considerando aquecimento, resfriamento, ventilação, iluminação, etc.), quanto o uso de água nesses edifícios. O *EnergyPlus* é um programa livre e de código aberto, disponível para os sistemas operacionais Windows, Mac OS X e Linux (DOE, 2016).

Surgiu da integração dos programas BLAST e DOE-2, para simular aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação, entre outros fluxos de energia e uso de água em edificações. Os dados iniciais são baseados em arquivos climáticos do local a ser estudado, além da representação do modelo ou da edificação que será analisada, que pode ser modelada em outros programas,

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

como o *SketchUp*. Os dados de saída, requeridos conforme a necessidade do usuário, permitem a interpretação do comportamento térmico e energético do modelo estudado (CRAWLEY *et al.*, 2001). Diversos estudos empregam o *EnergyPlus* para simular o desempenho termoenergético de edificações.

Boyano, Hernandez e Wolf (2013) propuseram uma metodologia de avaliação do desempenho e potencial de economia energética de edificações comerciais europeias. Para isso, simularam no *EnergyPlus* um modelo de edificação representativa da tipologia edifício comercial de escritório para três cidades da Europa. De acordo com os autores, o programa escolhido é adequado tendo em vista que permite modelar livremente os sistemas de aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação e outros fluxos energéticos, bem como consumo de água nos edifícios avaliados. No estudo, o isolamento das paredes externas e dos vidros, a área de janela, a orientação do modelo e os métodos de controle do sistema de iluminação foram variados a fim de estudar diversos cenários. Como resultados, os autores concluíram que o sistema de iluminação apresenta um importante potencial de economia energética. Concluiu-se que a orientação do edifício está relacionada com o consumo energético para o sistema de climatização. Além disso, que grandes valores de isolamento são indicados para casos de edifícios locados em climas frios ou médios, dado que, em climas quentes, ganhos térmicos não podem ser removidos facilmente do interior de edifícios muito isolados, o que implica em aumento de consumo energético com resfriamento.

### 2.4.2 *Daysim*

O *Daysim* é um programa computacional validado, que foi baseado nos algoritmos RADIANCE. O mesmo analisa a iluminação natural anual tanto no interior quanto no entorno de edificações. Com o programa, o simulador pode encontrar a influência de diversos fatores no aproveitamento de luz natural no interior dos edifícios, tais como fachadas dinâmicas, uso de proteções internas e externas, elementos que redirecionam a

iluminação ou combinações de diversas estratégias (REINHART, 2016). A luz natural é uma ferramenta dinâmica, portanto, empregar o *Daysim* pode facilitar o cálculo do uso integrado das iluminações artificial e natural (REINHART, 2010).

Tem-se grande aceitação na literatura sobre a aplicação do *Daysim* em simulações de iluminação natural, quando comparadas à aplicação do *EnergyPlus* com a mesma função.

Didoné e Pereira (2010) expõem que o *EnergyPlus* apresenta inconsistências em seu algoritmo de avaliação de iluminação natural, resultando em simulações com aproximações pouco realistas. Desta forma, os autores sugerem que se empregue o *Daysim* na avaliação da luz natural para que a mesma não seja superestimada. Os relatórios gerados pelo *Daysim* podem ser integrados na simulação do desempenho energético no *EnergyPlus*. Na pesquisa, os autores realizaram comparações entre simulações integrando às simulações no *EnergyPlus* os controles gerados pelo *Daysim*. Como resultados, os autores concluíram que o método de integração dos dois programas mostrou-se adequado para suprir as limitações apresentadas pelo *EnergyPlus* e representar de maneira mais realista os níveis de iluminância no interior dos edifícios.

Versage, Melo e Lamberts (2010) avaliaram o impacto de diferentes resultados de simulação de iluminação natural na predição de consumo energético de edificações. Nesse contexto, avaliaram os resultados de simulações no *EnergyPlus* e no *Daysim*, considerando diferentes controles de iluminação natural e avaliando o consumo energético total dos modelos. Como resultados, os autores mostram maior precisão nas simulações de iluminação natural realizadas integrando o *Daysim* ao *EnergyPlus*. Nas simulações em que se empregou apenas o *EnergyPlus*, a iluminância interna foi superestimada nas regiões mais distantes das aberturas. Os autores expõem que, quando a iluminância mantida é de 500 lux, integrando iluminação natural à artificial, o *EnergyPlus* e o *Daysim* apresentam resultados semelhantes em pontos com distância de até três metros das janelas. Em lugares mais distantes das janelas, os resultados das simulações com o *EnergyPlus* vão se tornando menos verossímeis, fato atribuído às limitações que o programa computacional apresenta em seu algoritmo de iluminação natural. Deste modo, os melhores

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

resultados são obtidos quando as simulações são realizadas integrando ambos os programas. Isto é, integrando-se os resultados de iluminação natural obtidos no *Daysim* às simulações termoenergéticas do *EnergyPlus*.

Rupp (2011) estudou o dimensionamento de área de janela em edificações comerciais localizadas em Florianópolis-SC. Na pesquisa, o autor considerou a integração de iluminação natural à artificial e empregou ventilação híbrida. Nas análises de integração de iluminação natural à artificial, o autor também empregou o programa *Daysim* na avaliação de iluminação e integrou os resultados às simulações termoenergéticas do *EnergyPlus*. Afinal, realizando as simulações apenas no *EnergyPlus*, a iluminação poderia ser superestimada, resultando em valores de consumo energético menos confiáveis.

Ramos e Ghisi (2010) analisaram a influência da iluminação natural no desempenho energético de edificações. Para isso, os autores empregaram os programas computacionais *EnergyPlus*, *Daysim* e *Troplux*, com o intuito de comparar os resultados gerados por simulações em cada um deles. As simulações foram realizadas em modelos com três proporções diferentes: um quadrado e dois retangulares, sendo um raso e outro profundo. Os modelos foram avaliados inseridos no clima de Florianópolis-SC. O trabalho consistiu em avaliar a iluminância natural útil e o fator de luz do dia, além de comparar as iluminâncias horizontais externas resultantes das simulações com as medidas em Florianópolis. Os autores concluíram que o *EnergyPlus* apresenta problemas de precisão com o fator de iluminação natural, relacionados às reflexões internas. Além disso, as iluminâncias horizontais externas foram superestimadas pelo *EnergyPlus*. Problemas com o algoritmo de iluminação natural justificam a integração de outro programa às simulações do *EnergyPlus*.

Reinhart (2004) usou o algoritmo *Lightswitch-2002* no programa *Daysim* para avaliar os resultados de simulações considerando dois modelos de controle da iluminação e dos elementos de sombreamento. O algoritmo permite avaliar o comportamento dos usuários quanto à operação de elementos de sombreamento e do sistema de iluminação. Os dados de entrada do algoritmo são os perfis anuais de ocupação do edifício e as

iluminâncias desejadas no plano de trabalho. Nas simulações, foi considerado um modelo de edificação de escritório com orientação sul localizado em Toronto, Canadá. O edifício possui ocupação das 8h às 18h, com uma hora de almoço às 12h e dois intervalos de 15 min cada, às 10h e às 15h. A iluminância mantida no modelo é de 500 lux, e é proveniente da integração da luz natural à artificial, composta por lâmpadas T5 35 W. Os elementos internos de sombreamento são venezianas brancas. Como resultados, Reinhart (2004) apresentou que a demanda energética anual para iluminação pode variar de 10 a 39 kWh/m<sup>2</sup>.ano, variando de acordo com as diferentes tipos de comportamento dos usuários.

### 2.4.3 Diva para Rhinoceros

O DIVA é um *plug-in* para o programa de modelagem 3D Rhinoceros que foi desenvolvido na Universidade de Harvard, mas atualmente é desenvolvido e distribuído pela Solemma LLC. Com o DIVA é possível simular o desempenho ambiental de edificações, incluindo autonomia de iluminação natural e integração de desempenho termoenergético de zonas térmicas únicas (SOLEMMA LLC, 2016).

Como apresentado por Fonseca (2015), o DIVA integra os programas *Daysim* e *EnergyPlus* nas simulações. Isto é, são simulados os ambientes de iluminação natural utilizando-se como base o sistema do programa *Daysim*. A partir disso, as análises de desempenho termoenergético, que podem integrar as *schedules* geradas com as simulações de iluminação natural, são realizadas no *EnergyPlus*. A integração desses programas facilita a utilização dos programas apresentados na revisão de literatura como ideais para as simulações realizadas nesta pesquisa.

Existe a possibilidade de utilizar o algoritmo *Lightswitch* (REINHART, 2004) nas simulações de iluminação natural realizadas no DIVA. Este algoritmo permite simular o comportamento dos usuários em dois aspectos: operação do sistema de iluminação artificial e operação dos elementos internos de sombreamento (REINHART, 2001). O modelo do *Lightswitch* foi desenvolvido com observações realizadas em campo a respeito das interações dos usuários com os dois sistemas



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

avaliados e os níveis de iluminância obtidos em seus planos de trabalho.

### 2.5 Síntese da revisão de literatura

Neste capítulo foi apresentada a revisão de literatura que norteou a definição dos fatores avaliados na pesquisa. A revisão abordou as questões de iluminação natural, comportamento de usuário em edificações, operação de elementos internos de sombreamento e programas empregados nas simulações computacionais. Foi possível determinar quais são os fatores mais impactantes a serem avaliados para alcançar os objetivos desta pesquisa.

A aceitação da luz natural em ambientes construídos é inquestionável. A revisão de literatura mostrou resultados de estudos que comprovam a possibilidade de tornar edificações energeticamente mais eficientes com a aplicação dessa estratégia (GHISI; TINKER, 2005; DIDONÉ; PEREIRA, 2009; ACOSTA *et al.*, 2015; FASI; BUDAIWI, 2015). Além de questões relacionadas à redução de consumo com iluminação artificial, aplicar luz natural nos ambientes colabora, como alguns dos autores citados apontam, na criação de um ambiente mais confortável e produtivo aos usuários, resultado de melhores condições de critérios visuais que só a luz natural pode proporcionar. Além das vantagens, Li (2010) afirma que explorar a iluminação natural nas edificações é uma maneira simples de torná-las mais eficientes.

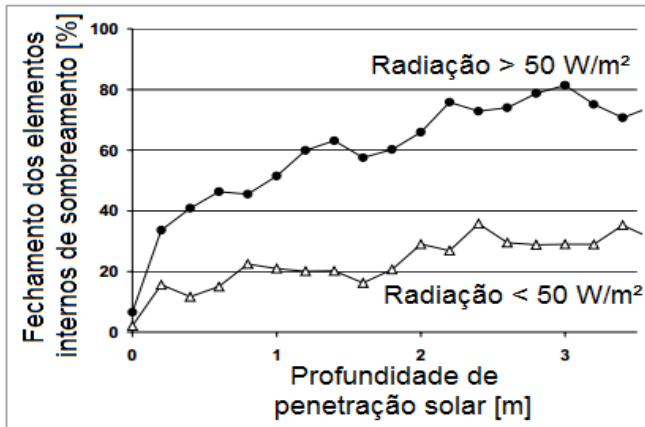
Entretanto, a aplicação de uma estratégia de projeto – ou diversas delas – não é suficiente para garantir que uma edificação será eficiente. Atualmente, o estudo do comportamento dos usuários e sua consequente influência no desempenho energético dos edifícios ocupados é amplamente aceito. Na literatura, é possível encontrar diversos estudos comprovando a influência do comportamento dos usuários no desempenho energético de edificações. É consenso entre os pesquisadores que desconsiderar a influência do comportamento dos usuários na predição do consumo de edificações pode resultar em estimativas errôneas de consumo, dado que os usuários apresentam papel fundamental no desempenho energético dos edifícios (JANDA,

2009; BONTE; THELLIER; LARTIGUE, 2014; MOEZZI; JANDA, 2014; HOES *et al.*, 2009; O'BRIEN, 2013).

Quanto ao aproveitamento da luz natural nos edifícios, embasando-se na revisão de literatura realizada, é possível afirmar que, apesar de conhecidas as vantagens, tanto do ponto de vista energético quanto das condições de conforto proporcionadas, a penetração da luz natural é, com frequência, barrada por elementos internos de sombreamento. Estes elementos são manipuláveis e sofrem influência das interações dos usuários. Deste modo, tem-se o conflito entre a influência positiva de uma estratégia bioclimática aos padrões de comportamento que os usuários podem apresentar. Afinal, um edifício que apresente mecanismos de aproveitamento de luz natural, porém ocupado por usuários que mantêm os elementos internos de sombreamento obstruindo a penetração de luz, tende a não apresentar bons resultados de desempenho energético. A revisão de literatura mostrou estudos que avaliaram o padrão de interação de usuários com elementos internos de sombreamento (WYMELENBERG, 2012; FOSTER; ORESZCZYN, 2001; HALDI; ROBINSON, 2010); além de Rocha e Pereira (2011) que criaram padrões comportamentais e avaliaram os mesmos por simulação computacional; e Zhang e Barrett (2012), que avaliaram as operações dos elementos de sombreamento por registros fotográficos e aplicação de questionários. Avaliando-se a interação dos usuários com os elementos internos de sombreamento, Reinhart (2001) apresenta que valores de radiação solar de  $50 \text{ W/m}^2$  no plano de trabalho podem ser estipuladas como limiar de interação aos usuários. O autor expõe que os elementos internos de sombreamento tendem a ser fechados quando os usuários percebem radiação solar superior a  $50 \text{ W/m}^2$  no plano de trabalho, como é apresentado na Figura 1. Wymelenberg (2012) e Zang e Barrett (2012) também apresentam a radiação solar no plano de trabalho como o principal motivo para a interação dos usuários com os elementos internos de sombreamento.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1 – Relação entre a radiação solar e o fechamento dos elementos internos de sombreamento.



Fonte: Reinhart (2001).

De maneira geral, pode-se concluir que a influência do comportamento dos usuários no desempenho energético de edificações é inquestionável. Nesse âmbito, tem-se que as interações com os elementos de sombreamento configuram grande potencial de otimização de consumo. Entretanto, a literatura ainda é restrita nessa área, e, além disso, os estudos existentes, geralmente, empregam metodologias bastante distintas, o que dificulta a comparação dos resultados. Enquanto alguns autores relacionam insatisfação com o ambiente visual às interações dos usuários com os elementos de sombreamento, outros as relacionam com questões ligadas ao desconforto térmico. Além disso, os métodos de obtenção dos dados sobre as interações também são muito variáveis.

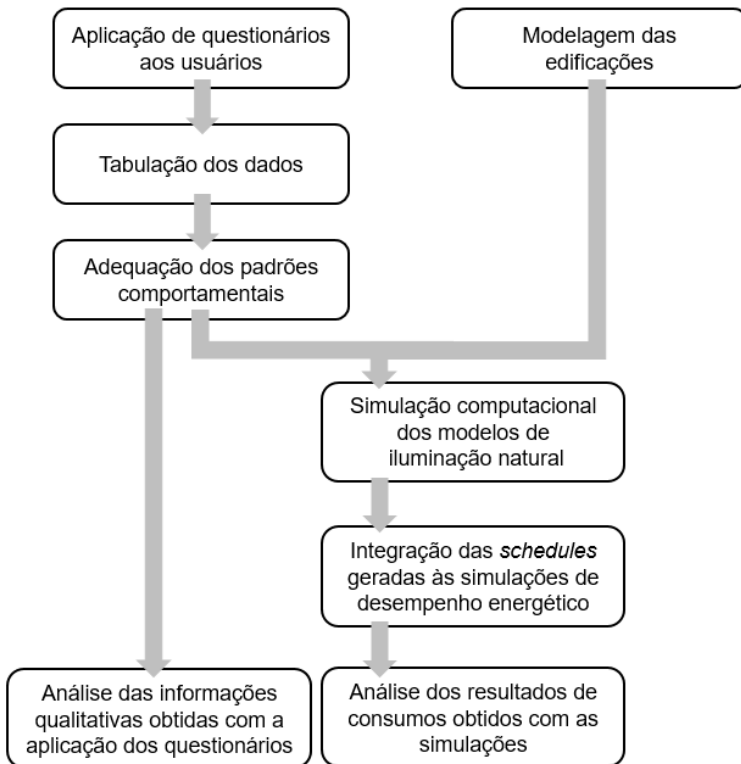
Assim, a partir da revisão de literatura, surgiu o interesse de avaliar a influência de diferentes padrões de interação com elementos internos de sombreamento no desempenho energético de edificações de escritório em Florianópolis-SC. Deste modo, três padrões comportamentais e suas implicações na eficiência energética de edificações foram estudados nesta pesquisa.



### 3. MÉTODO

Neste capítulo é apresentado o método empregado para alcançar os objetivos da pesquisa. Nele, são detalhadas as particularidades dos questionários aplicados a usuários de uma edificação de escritório a fim de conhecer seus comportamentos em relação ao ajuste dos elementos internos de sombreamento, as características das simulações computacionais realizadas a fim de compreender a influência dos usuários no desempenho energético da edificação, os programas computacionais utilizados e as análises dos resultados. A Figura 2 mostra o fluxograma do método proposto nesta pesquisa.

Figura 2 - Fluxograma do método proposto nesta pesquisa.



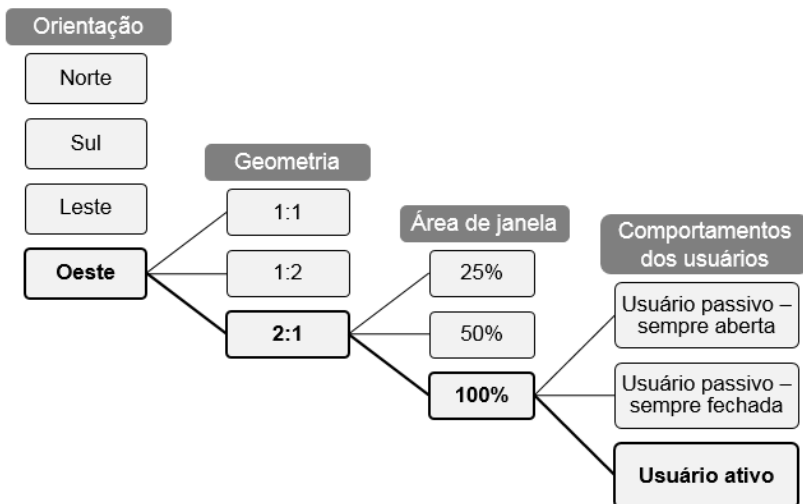
A pesquisa foi dividida em duas partes: uma de caráter qualitativo e outra de caráter quantitativo. A primeira delas consistiu na aplicação de questionários a 164 usuários de uma edificação de escritório em Florianópolis a fim de conhecer parâmetros subjetivos de seus comportamentos em relação à operação de elementos internos de sombreamento. Esses parâmetros serviram como base para a criação dos padrões de interação com elementos internos de sombreamento, juntamente à revisão de literatura realizada. Julgou-se apropriado inserir usuários passivos, que mantêm os elementos internos de sombreamento totalmente abertos ou fechados durante o ano inteiro; e usuários ativos, que interagem com os mesmos visando adequar a condição de penetração de radiação solar nos ambientes. A segunda parte, de caráter quantitativo, consistiu em simulações computacionais para determinar o desempenho energético dos modelos avaliados inserindo os padrões comportamentais dos usuários. Nas simulações, foram fixadas as propriedades termofísicas da envoltória e os padrões de ocupação, de uso de equipamentos e sistema de condicionamento de ar. O sistema de iluminação apresenta integração de luz natural à artificial, com controle *dimmerizável*, e foi utilizado concomitantemente à ocupação do modelo simulado. Os modelos de edificações foram simulados com as seguintes características variáveis: orientação, geometria do ambiente, área de janela e padrões comportamentais dos usuários.

As interações dos usuários com elementos internos de sombreamento apresentam relação com a penetração de luz natural dos ambientes, devido ao controle de ganho de luz natural proporcionado pelos mesmos. Deste modo, variar a orientação dos modelos é apropriado para conhecer cenários com diferentes ganhos de radiação solar nas fachadas. A geometria do modelo foi variada para avaliar a influência de diferentes proporções na penetração de luz natural nos ambientes, e consequentes variações na integração da luz natural à artificial. A área de janela foi variada visando proporcionar diferentes níveis de iluminação natural ao interior dos modelos. Enquanto os padrões comportamentais foram variados a fim de estimar o desempenho energético de edificações ocupadas por diferentes usuários. Na

### 3. MÉTODO

Figura 3 são apresentadas as variáveis avaliadas nesta pesquisa e a combinação resultante de um dos caminhos da árvore de possibilidades.

Figura 3 – Detalhamento de um dos caminhos da árvore de possibilidades de combinação das variáveis avaliadas na pesquisa.



Todas as variáveis avaliadas foram combinadas entre si, a fim de conhecer os resultados de todos os caminhos da árvore de possibilidades que a pesquisa apresenta. As combinações dos fatores resultaram em 108 simulações do ambiente de iluminação natural e 108 do ambiente térmico, totalizando 216 simulações. Vale ressaltar que, mesmo após os modelos serem configurados, as simulações de iluminação natural são dispendiosas, dado que o algoritmo empregado calcula com precisão as reflexões internas.

Para as simulações computacionais, utilizou-se o *plug-in* DIVA 4.0. As simulações são integradas em um único ambiente, o programa de modelagem 3D *Rhinoceros*. Entretanto, as simulações de iluminação natural e as de desempenho energético são realizadas separadamente. Inicialmente, foram realizadas as simulações dos ambientes de iluminação natural a fim de gerar os

padrões de funcionamento do sistema de iluminação artificial e dos elementos internos de sombreamento (no caso dos usuários ativos). Com os padrões de funcionamento (*schedules* necessárias nas simulações de desempenho energético), foi possível realizar as simulações com o *EnergyPlus* a fim de conhecer as variações nos consumos das edificações quando se considera diferentes padrões de interação com os elementos internos de sombreamento.

### 3.1 Observações realizadas em campo

Foram realizadas observações de padrões comportamentais dos usuários de uma edificação de escritório na cidade de Florianópolis-SC por meio de aplicação de questionários. Neste tópico, são apresentadas as características da edificação avaliada, a abordagem realizada com a aplicação de questionários e a criação de padrões comportamentais com base nas observações de campo e revisão de literatura. A escolha de integrar padrões comportamentais às simulações energéticas foi realizada com base nas recomendações do Anexo 66 da Agência Internacional de Energia (IEA, 2014). A qual afirma que é necessário implementar modelos de comportamento de usuários a ferramentas de simulação energética para realizar análises quantitativas sobre a influência dos usuários no desempenho energético de edificações.

Durante a elaboração do questionário a ser aplicado e da definição da edificação a ser avaliada, foi realizado um estudo piloto em algumas salas do prédio da Engenharia Civil (ECV-UFSC). Neste estudo, aplicou-se um questionário inicial para avaliar as dificuldades encontradas durante a resposta do mesmo. Com isso, foi possível elaborar um questionário mais consistente para que a avaliação em campo.

#### 3.1.1 Edificação avaliada no estudo de caso

A edificação avaliada com aplicação de questionários localiza-se em Florianópolis-SC, e não possui elementos externos de sombreamento, como brises. Definiu-se avaliar um edifício com

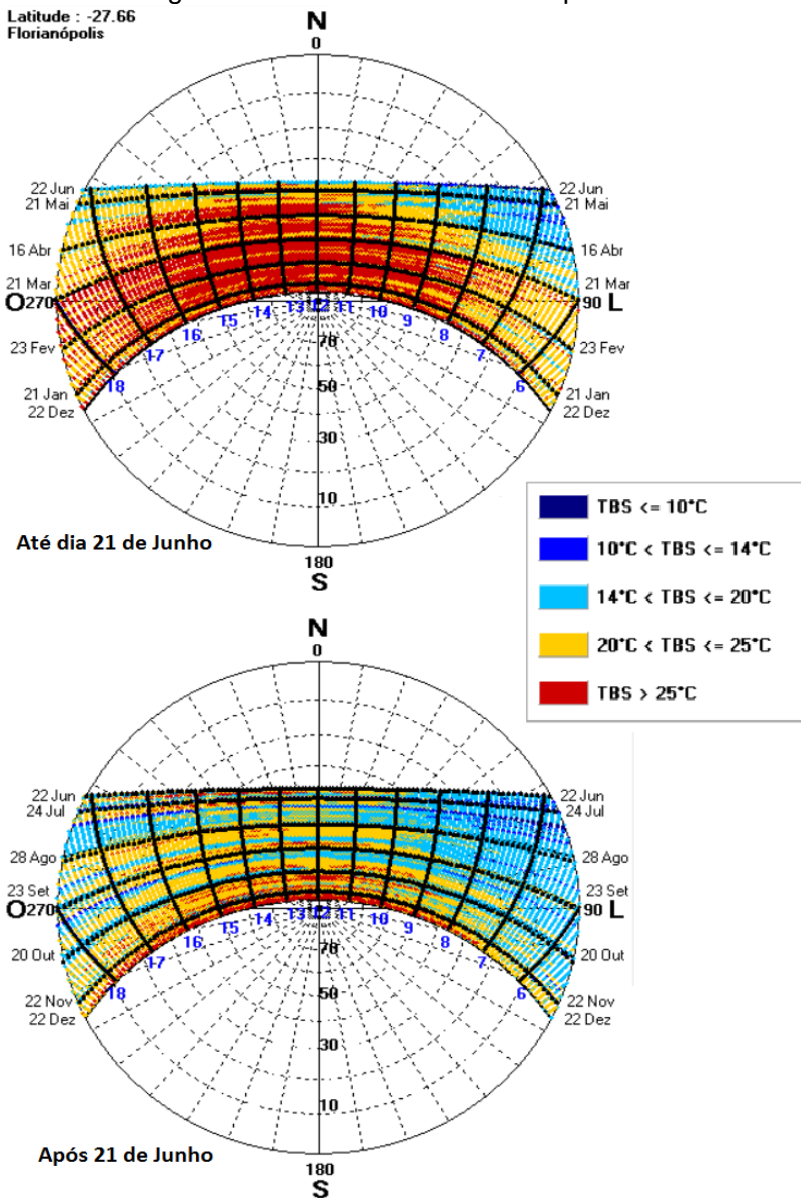


### 3. MÉTODO

essas características dado que a existência de elementos externos de sombreamento pode reduzir as interações dos usuários com os elementos internos. Assim, como o principal enfoque desta pesquisa são as interações dos usuários com os elementos internos de sombreamento, optou-se por avaliar um caso em que as interações não sejam minimizadas. Na Figura 4 é apresentada a carta solar de Florianópolis-SC, que fornece subsídio para comparar os diferentes momentos de fechamento dos elementos internos de sombreamento com os dados de incidência solar por fachada.

Figura 4 – Carta solar de Florianópolis-SC.

Latitude : -27.66  
Florianópolis

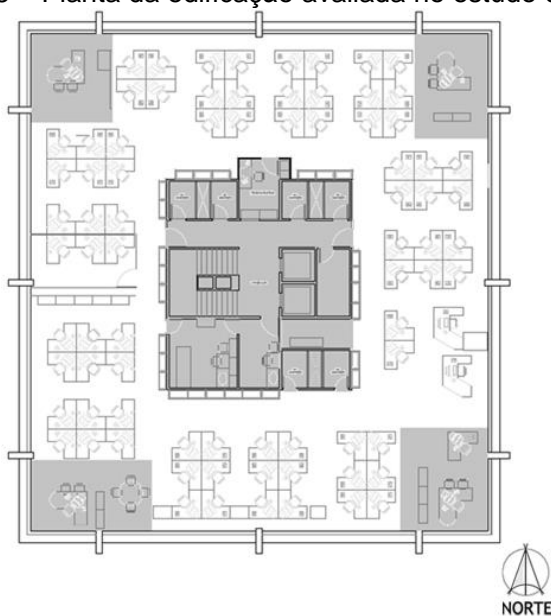


Fonte: LabEEE (2016).

### 3. MÉTODO

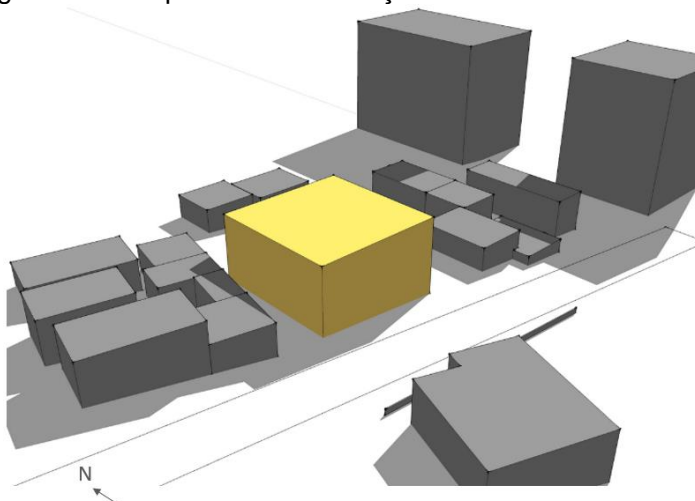
Na Figura 5 é apresentado o croqui da edificação analisada. Nem todas as estações de trabalho estavam ocupadas nos momentos de aplicação de questionários. As partes destacadas em cinza foram excluídas do estudo. As partes localizadas nos cantos do edifício foram desconsideradas dado que, nestes locais, os usuários possuem vista para duas janelas e, conseqüentemente, duas orientações de fachadas. A área central também foi excluída da avaliação, pois é a parte que abriga escadas, elevadores, circulações, banheiros e ambientes sem aberturas para o exterior. Deste modo, optou-se por avaliar os usuários que ocupam estações de trabalho localizadas próximo a uma única janela. Esta decisão torna as simulações e os dados dos questionários mais consonantes, dado que, nas simulações, foram avaliadas células com uma única fachada envidraçada.

Figura 5 – Planta da edificação avaliada no estudo de caso.



Uma perspectiva que mostra o entorno da edificação avaliada é apresentada na Figura 6, nela destacou-se o objeto de estudo com a cor amarela. A fachada norte garante vista para o estacionamento do prédio e, posteriormente, a aproximadamente 20 m de distância, a uma edificação com dois pavimentos. A fachada sul é a única voltada diretamente para a rua e, do outro lado, a aproximadamente 23 m de distância, há um edifício em construção em um terreno cercado por tapumes brancos. A fachada leste garante vista ao estacionamento do prédio e, a 16 m de distância, aos lados de uma edificação com dois pavimentos. Nas direções leste e nordeste existem duas edificações com 12 pavimentos, mas elas estão situadas a, aproximadamente, 60 m de distância. Considerando a posição e a altura dessas edificações, percebeu-se que elas apresentam pouca influência na edificação avaliada. A fachada oeste é a mais próxima a edificações vizinhas, aproximadamente 8 m de distância. Entretanto, as edificações vizinhas possuem menos pavimentos (um ou dois) e o térreo da edificação avaliada não foi inserido nos estudos. A fachada oeste garante vista para uma praça localizada próximo à edificação avaliada.

Figura 6 – Perspectiva da edificação avaliada e seu entorno.



## 3. MÉTODO

### 3.1.2 Aplicação de questionário aos usuários da edificação

Dada a vasta possibilidade de fatores que acarretam ajustes nos elementos internos de sombreamento de escritórios, foi necessário estipular padrões de interação condizentes com a realidade dos ambientes ocupados. Visando empregar padrões verossímeis às condições reais, decidiu-se aplicar questionários a usuários de salas de escritório compartilhadas. Os questionários foram aplicados a 164 usuários de ambientes localizados entre o primeiro e o quarto pavimentos. O térreo foi excluído por ser o que mais sofre influência do entorno e por possuir poucas áreas com tipologia de escritório. Nas dezesseis questões aplicadas foram explorados os seguintes tópicos:

- Pavimento e características da posição dos usuários na sala;
- Preferência por locais próximos a janelas;
- Frequência de interação com os elementos internos de sombreamento;
- Motivos que diminuem as interações com os elementos internos de sombreamento;
- Momentos de interação com os elementos internos de sombreamento;
- Relação entre as operações com os elementos internos de sombreamento e o ambiente visual/térmico;
- Maior ocorrência de elementos abertos ou fechados;
- Percepção de variação comportamental dos usuários durante o inverno.

A aplicação de questionários é justificada tendo em vista que medições de comportamento de usuários – tratando-se, neste caso, de operação de elementos internos de sombreamento – pode resultar em dados divergentes. Dado que diversos fatores influenciam na interação dos usuários com elementos de sombreamento, mensurar suas ações poderia resultar em padrões de comportamento extremamente variáveis e pouco agrupáveis. Na literatura, é possível perceber que cada usuário interage de maneira única, e motivado pelos mais diversos fatores.

O modelo de questionário aplicado é apresentado no Apêndice A.

### 3.2 Determinação de padrões comportamentais com base no estudo de caso e revisão de literatura

Neste tópico são apresentadas as decisões tomadas a respeito das características dos comportamentos dos usuários avaliados nesta pesquisa. Para isso, realizou-se integração de informações obtidas com a aplicação de questionários em campo às obtidas com revisão de literatura. Com estas análises, foi possível conhecer momentos de abertura e fechamento dos elementos internos de sombreamento e os principais motivos de interação relatados pelos usuários. Estes dados foram necessários tanto nas simulações de iluminação natural quanto nas de desempenho energético.

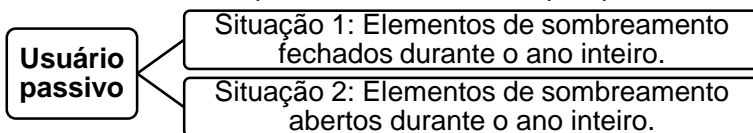
Foram criados três perfis comportamentais, dois de usuários passivos e um de usuários ativos. Neste tópico são apresentadas as particularidades de ambos os perfis comportamentais.

#### 3.2.1 Usuário passivo

Nas simulações, foram considerados dois padrões de usuário passivo, que não interagem com os elementos de sombreamento. No primeiro caso, os elementos de sombreamento são mantidos abertos durante todo o ano de simulação. No segundo, os elementos internos de sombreamento são considerados fechados durante as simulações. O objetivo foi contrastar dois cenários extremos no que se refere ao aproveitamento de iluminação natural. Em ambos os casos, não foram considerados critérios de conforto térmico ou visual. As duas variações de comportamento passivo que foram estudadas são apresentadas na Figura 7.

### 3. MÉTODO

Figura 7 - Detalhamento das variações de comportamento do usuário passivo avaliado nesta pesquisa.



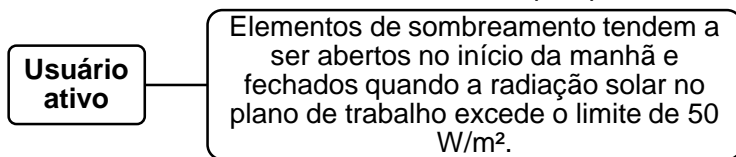
Nas observações realizadas em campo, foram encontrados usuários que não interagem com os elementos internos de sombreamento, tanto para abri-los quanto para fechá-los. Além disso, em algumas orientações, percebeu-se maior permanência de elementos internos de sombreamento abertos, como na orientação sul e maior permanência de elementos internos de sombreamento fechados, como na orientação leste. Optou-se por generalizar os padrões comportamentais passivos a todas as orientações (norte, sul, leste e oeste), dado que estes configuram os cenários mínimo e máximo de aproveitamento de iluminação natural.

Embasando-se na literatura, determinaram-se os padrões comportamentais em que os usuários passam longos períodos de tempo sem interagir com elementos internos de sombreamento. Afinal, apesar das interações estarem frequentemente ligadas a questões de conforto térmico e/ou visual, Wymelenberg (2012), em sua revisão de literatura, concluiu que fatores menos explorados podem implicar em comportamentos passivos quanto ao ajuste das condições ambientais. Na presente pesquisa as salas de escritório simuladas não são individualizadas, deste modo, ajustar as condições de iluminação, por exemplo, implica em modificar não apenas o ambiente do usuário que realizou a interação, mas de todos os ocupantes do ambiente. Fatores como elementos de sombreamento quebrados ou difíceis de operar e questões ligadas ao relacionamento pessoal no ambiente de trabalho podem resultar em atitudes mais passivas em relação aos ajustes do ambiente interno.

### 3.2.2 Usuário ativo

O segundo padrão de uso, relativo aos usuários ativos, consiste em abertura dos elementos internos de sombreamento no momento de chegada ao ambiente, e tendência de fechamento quando o nível de radiação solar direta no plano de trabalho atinge um valor considerado como o limiar de interação, que corresponde a  $50 \text{ W/m}^2$ . A literatura apresenta este valor como um limite aceitável, tendo em vista que o mesmo é caracterizado como um limiar para a interação dos usuários com os elementos de sombreamento por Reinhart (2001). Quando o limiar de interação é atingido, o usuário ativo tende a obstruir a área envidraçada fechando os elementos internos de sombreamento. Após fechados, eles são mantidos assim durante o resto do dia, uma vez que, em outros estudos, percebe-se que as interações com elementos de sombreamento ocorrem poucas vezes. Com a aplicação de questionários, percebeu-se que os elementos internos de sombreamento são abertos pela maioria dos usuários no momento de chegada ao ambiente e, após fechados, tendem a ser abertos novamente apenas no próximo dia. As características da interação do usuário ativo com os elementos internos de sombreamento são detalhadas na Figura 8.

Figura 8 - Detalhamento das variações de comportamento do usuário ativo avaliado nesta pesquisa.



Nas observações realizadas em campo, percebeu-se consonância com os dados obtidos em revisão de literatura. As interações visando abertura dos elementos internos de sombreamento acontecem, na maioria dos casos, no momento de chegada dos usuários ao ambiente de trabalho, enquanto o fechamento acontece em algum momento do dia, variável conforme a orientação. Percebe-se que os momentos de



### 3. MÉTODO

fechamento dos elementos internos de sombreamento coincidem com os momentos de incidência de radiação solar direta nas fachadas. No caso da fachada sul, com menor incidência de radiação solar direta para a latitude de Florianópolis, percebeu-se que os elementos internos de sombreamentos são mantidos abertos na maior parte do tempo. Entretanto, não foram realizadas medições para determinar os níveis de radiação necessários para que os usuários interajam com os elementos internos de sombreamento visando seu fechamento. Deste modo, este valor foi obtido com base em revisão de literatura.

Na inserção do padrão de comportamento ativo, não foi configurado o fechamento dos elementos internos de sombreamento sempre que fosse percebida radiação de  $50 \text{ W/m}^2$  no plano de trabalho. Afinal, assumir este comportamento resultaria em um padrão de interação mecânico. Sabe-se que os usuários não interagem de maneira idêntica em todos os momentos. Deste modo, optou-se por inserir o algoritmo *Lightswitch* nas simulações. Este algoritmo, criado por Christoph Reinhart, desenvolvedor do *Daysim* e desenvolvedor do *plug-in* DIVA, foi criado com base em medições realizadas em edifícios de escritório e sua inserção nas simulações permite que o algoritmo utilize uma probabilidade de os usuários fecharem os elementos internos de sombreamento a partir da percepção de  $50 \text{ W/m}^2$  de radiação solar no plano de trabalho (REINHART, 2001).

#### 3.3 Simulações computacionais

Cada caso foi modelado separadamente para o ambiente de iluminação e para o térmico. No ambiente de iluminação, são necessárias variáveis que influenciam na dinâmica da distribuição de luz, como as refletâncias das superfícies internas, porém são desconsideradas as propriedades térmicas dos elementos construtivos, como a transmitância térmica. No caso do ambiente térmico, são necessários os dados que influenciam na transferência de calor nos modelos, além de características do sistema de condicionamento e densidade de ocupação. Nesta seção, são apresentados os dados de entrada para os dois modelos simulados.

Os modelos foram simulados para o clima de Florianópolis utilizando-se o arquivo climático SWERA, com extensão .epw, obtido no site do *EnergyPlus* (US DOE, 2016). A escolha deste arquivo climático foi realizada a partir dos resultados de Scheller *et al.* (2015), que realizaram um estudo de comparação entre os arquivos climáticos disponíveis e concluíram que, em relação ao atlas solarimétrico do Brasil, o arquivo SWERA apresenta melhor desempenho de radiação solar quando comparado com os arquivos TRY e INMET.

Nas simulações, foram variadas as seguintes características da envoltória: orientação, geometria e área de janela. Variou-se os padrões comportamentais em três situações: duas situações de usuários passivos, em um caso mantendo os elementos internos de sombreamento abertos durante o ano inteiro e, em outro, considerando os mesmos fechados durante o ano inteiro; a terceira situação compreende aos usuários ativos, aqueles que interagem com os elementos internos de sombreamento em diferentes momentos do dia.

Neste tópico são detalhadas as características das simulações computacionais realizadas. Inicialmente, são apresentadas as características dos ambientes simulados, tratando-se de tipologia construtiva e variações realizadas na envoltória, bem como propriedades termofísicas e ópticas dos materiais empregados. Em seguida, são apresentadas as características específicas das simulações de iluminação natural e de desempenho energético, bem como os resultados obtidos com a realização das mesmas.

### **3.3.1 Características dos ambientes simulados**

Foram simulados ambientes considerados aproximações dos ambientes do edifício avaliado com questionários. Desta forma, apesar de nas avaliações realizadas em campo o edifício possuir planta livre, as simulações foram realizadas considerando zonas térmicas individuais, todas elas com uma única fachada envidraçada.

A geometria do ambiente foi variada considerando três situações. A primeira delas representa um ambiente quadrado, de geometria 1:1, com 5,00 m x 5,00 m x 3,00. A segunda

### 3. MÉTODO

corresponde a uma sala retangular rasa, de geometria 2:1 e dimensões de 10,00 m x 5,00 m x 3,00 m. Por fim, o ambiente foi configurado com geometria profunda, de 1:2, e dimensões de 5,00 m x 10,00 m x 3,00 m. Essas decisões foram tomadas tendo em vista que diferentes proporções influenciam na distribuição de luz natural no ambiente construído. O pé-direito foi mantido constante nos ambientes e igual a 3,00 m.

Em todos os modelos inseriu-se janela apenas em uma das fachadas. Optou-se por desconsiderar o consumo energético proveniente das trocas térmicas com o ambiente nas fachadas não envidraçadas, assim como no piso e na cobertura. Deste modo, eles foram considerados adiabáticos. A fachada envidraçada teve suas propriedades termofísicas mantidas fixas em todas as simulações, dado que variá-las implicaria em diferentes trocas térmicas com o ambiente. Deste modo, o modelo avaliado corresponde a uma célula que representa um ambiente de escritório compartilhado por, pelo menos, duas pessoas.

Quanto à parede envidraçada, voltada para o exterior, as propriedades termofísicas de seus materiais constituintes foram obtidas no levantamento realizado por Santana (2006). Em sua pesquisa, a autora definiu parâmetros construtivos de edificações de escritório localizadas em Florianópolis-SC. A Tabela 1 indica os parâmetros que foram considerados como propriedades das paredes externas.

Tabela 1 – Materiais mais comumente empregados nas paredes externas de edifícios de escritório em Florianópolis-SC.

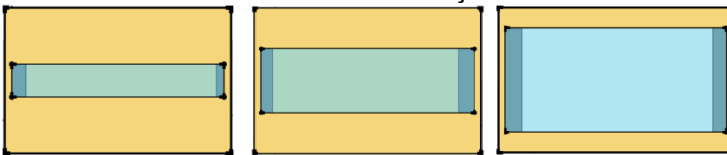
Elemento	Rugosidade	Espesura (cm)	Condutividade (W/m.K)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg.K)
Argamassa de reboco	Rugoso	2,5	1,15	2500	1000
Tijolo cerâmico maciço	Rugoso	10	0,9	2900	920

Fonte: Adaptado de Santana (2006).

A orientação da fachada envidraçada no ambiente simulado foi variada. Na literatura, é possível encontrar estudos que variam a orientação da fachada envidraçada visando obter a influência da incidência solar no desempenho energético das edificações, além da relação entre a orientação e os padrões de uso dos elementos internos de sombreamento. Deste modo, variou-se a orientação do modelo estudado em quatro situações: norte, sul, leste e oeste. Estas quatro orientações vão ao encontro das orientações dos ambientes avaliados na aplicação de questionários para conhecer o comportamento dos usuários.

Nesta pesquisa, em que o enfoque principal é a operação dos elementos internos de sombreamento, é necessário avaliar a quantidade de luz natural que penetra no ambiente a fim de encontrar relações entre os elementos de sombreamento e o aproveitamento da luz natural, com o intuito de reduzir o consumo de energia elétrica com iluminação artificial. Desta forma, julgou-se necessário variar a área envidraçada na fachada a fim de determinar sua influência no desempenho energético de ambientes de escritórios ocupados por usuários reais, com padrões de uso definidos e empregados em simulação. Para isso, foram considerados três áreas de janela no ambiente estudado: 25%, 50% e 80%, conforme é mostrado na Figura 9. O vidro inserido na fachada apresenta transmitância à luz visível de 0,88 e fator solar de 0,82. Optou-se por manter apenas um tipo de vidro, tendo em vista que os padrões de comportamento dos usuários não foram condicionados às variações de materiais da envoltória.

Figura 9 – Demonstração das diferentes áreas de janela consideradas: à esquerda, 25%; no centro, 50%; à direita, 80% da fachada envidraçada.

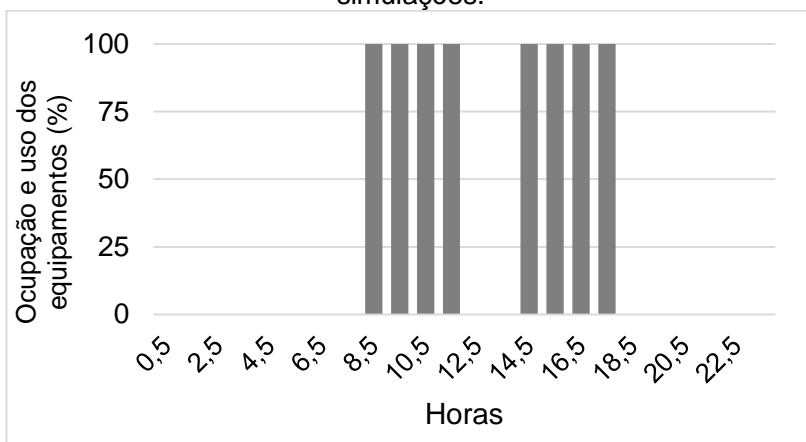


Por se tratar de um edifício de escritórios, os horários de ocupação foram definidos entre 8h e 18h, com horário de intervalo das 12h às 14h. O ambiente possui ocupação de 100% nos

### 3. MÉTODO

períodos definidos, com exceção do intervalo. A ocupação foi definida com base nos horários de funcionamento da edificação onde foram aplicados os questionários. O padrão de uso adotado para a ocupação do ambiente, mostrado na Figura 10, é referente a dias de semana, pois aos finais de semana o ambiente não é ocupado. Empregou-se o mesmo padrão para o uso de equipamentos. No caso da iluminação, os padrões de uso estão condicionados ao aproveitamento de luz natural, entretanto, os limites de início e término do uso da iluminação coincidem com os do padrão de ocupação.

Figura 10 – Padrão de ocupação e de uso de equipamentos nas simulações.



A apresentação do padrão de ocupação e uso de equipamentos segue a formatação do DIVA 4.0. Apesar de apresentadas em frações, o *plug-in* considera as horas de maneira inteira. Isto é, o início da ocupação que, no gráfico é apresentado pela hora 8,5, compreende ocupação de 100% das 8h às 9h.

O nível de iluminância a ser mantido é 500 lux na superfície de trabalho, conforme recomenda a ABNT (2013). Para isso, o sistema de iluminação consiste na integração da iluminação natural à artificial com controle *dimmerizável* e automatizado. Com a iluminação natural integrada à artificial, quando a luz natural

garante a obtenção de 500 lux no plano de trabalho, conseqüentemente a artificial é desligada. De maneira similar, nos momentos em que a luz natural for insuficiente, a iluminação artificial é acionada como complemento. Além disso, quando a iluminação natural não supre os níveis exigidos de iluminância, o sistema de iluminação artificial funciona em sua potência máxima, garantindo os níveis de iluminância esperados.

O dimensionamento do sistema de iluminação artificial foi baseado na proposta de Rupp (2011), que obteve a densidade de potência de iluminação (DPI) pelo método dos lúmens. O Apêndice B mostra os parâmetros considerados na aplicação do método dos lúmens a fim de obter o número de lâmpadas necessário em cada ambiente simulado. As lâmpadas utilizadas são do tipo SMARTLUX T5 HE - OSRAM. Os dados técnicos das lâmpadas empregadas foram obtidos no manual técnico da OSRAM. As luminárias empregadas são do tipo GMST T5 2x28W Guarilux. O sistema de iluminação resultou em valores iguais para as cargas internas dos modelos com geometria 1:2 e 2:1 devido ao fato de seus índices de ambiente serem iguais. O fator de depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas foi fornecido pelo fabricante e corresponde a 10%. O fator de utilização das luminárias foi fornecido pelo fabricante e depende do índice do ambiente e das refletâncias do teto, parede e piso. Considerou-se fator de utilização de 0,60 para os ambientes com índice do ambiente igual a 1,11 (modelo 1:1) e fator de utilização de 0,69 para os ambientes com índice do ambiente igual a 1,48 (modelos 1:2 e 2:1). A carga interna devida à iluminação artificial está condicionada ao aproveitamento de iluminação natural nos ambientes.

Baseando-se no trabalho de Santana (2006), a ocupação típica de escritórios é 14,7 m<sup>2</sup>/pessoa. Entretanto, adotou-se ocupação observada na edificação avaliada no estudo de caso, que corresponde a 10,5 m<sup>2</sup>/pessoa nas simulações a fim de garantir que, mesmo nos menores ambientes simulados (geometria 1:1, com 25 m<sup>2</sup> de área) existam, pelo menos, duas pessoas. Optou-se por essa alternativa dado que a pesquisa compreende salas de escritório compartilhadas. Considerando que a taxa de calor dissipada por pessoas em atividades leves, em escritórios, é de 75,0 W/pessoa para calor latente e 55 W/pessoa

### 3. MÉTODO

de calor sensível, tem-se liberação total de calor de 130,0 W/pessoa no ambiente. Com a ocupação de uma pessoa para cada 10,5 m<sup>2</sup>, a carga térmica devida às pessoas é de 12,38 W/m<sup>2</sup>. Adotou-se taxa de dissipação devido aos equipamentos de 155 W/pessoa (ABNT, 2008), que resultou em 14,76 W/m<sup>2</sup>, considerando a ocupação avaliada. A Tabela 2 resume as cargas internas dos modelos simulados.

Tabela 2 – Cargas térmicas dos modelos simulados.

Cargas internas		Cargas Internas [W/m <sup>2</sup> ]
Equipamentos		14,76
Iluminação	Modelo 1:1	8,96
	Modelos 1:2 e 2:1	7,84
Pessoas		12,38

Inseriu-se um sistema de condicionamento de ar ideal, capaz de prever a carga térmica necessária no ambiente sem que momentos de pico sejam superiores à capacidade de um sistema lançado isoladamente. A capacidade de resfriamento e aquecimento deste sistema é infinita. O *setpoint* de resfriamento adotado foi 24°C e o de aquecimento foi 20°C. Este sistema de condicionamento, bem como as temperaturas de *setpoint* foram baseados no trabalho de Versage (2015). Assim como os equipamentos, a operação do sistema de condicionamento de ar coincide com os padrões de ocupação do edifício.

#### 3.3.2 Simulações do ambiente de iluminação natural

Inicialmente foram realizadas as simulações do ambiente de iluminação natural a fim de conhecer os momentos em que os elementos de sombreamento estariam fechados ou abertos ao

longo do ano, bem como os ganhos de iluminação natural. Essas simulações resultaram nas *schedules* do sistema de iluminação e dos elementos internos de sombreamento; tais *schedules* foram usadas na etapa seguinte, nas simulações termoenergéticas.

O Daysim possui algoritmos de simulação de iluminação natural precisos, e alguns parâmetros iniciais devem ser configurados. Nas simulações, foram considerados os parâmetros apresentados por Reinhart (2006), mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros inseridos nas simulações do ambiente de iluminação.

<b>Parâmetros</b>	<b>Janelas desobstruídas</b>	<b>Janelas obstruídas</b>
Interreflexão	5	7
Divisão do ambiente	1000	1500
Amostragem do ambiente	20	100
Precisão	0,1	0,1
Resolução	300	300
Fonte direta	0	0
Amostragem direta	0	0

Fonte: Adaptado de Reinhart (2006).

De acordo com Reinhart (2006), os parâmetros da Tabela 3 podem ser definidos como:

- Interreflexão: número de interreflexões difusas que são calculadas para um raio de luz antes dele ser descartado nos cálculos;
- Divisão do ambiente e amostragem do ambiente: a divisão do ambiente determina o número de amostras de raios de luz que são emitidos por um ponto de uma superfície durante os cálculos de um ambiente. A amostragem do ambiente maior que zero determina o número de raios de



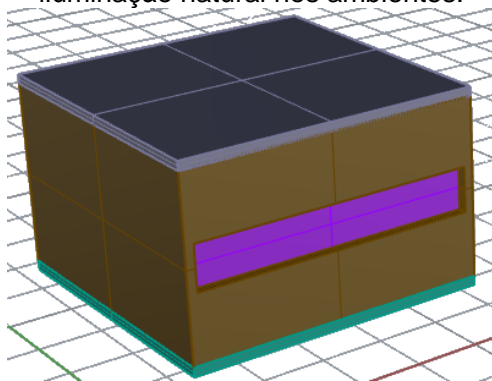
### 3. MÉTODO

luz adicionais que são enviados a áreas da amostra que apresentam variação de brilho;

- Precisão e resolução: a combinação desses parâmetros com a dimensão máxima dos ambientes fornece uma medida a respeito de quão bem a distribuição da luminosidade é calculada no ambiente;
- Fonte direta: independentemente do valor escolhido, esta variável é automaticamente considerada zero quando os coeficientes de iluminação natural são calculados com o *Daysim*;
- Amostragem direta: este parâmetro desliga o limiar de amostragem direta, isto é, apenas um raio de luz é sempre enviado para cada fonte de luz.

Nas simulações de iluminação natural não são necessárias as propriedades termofísicas dos materiais empregados na envoltória, dado que os cálculos de transferência de calor são realizados em etapa distinta. Deste modo, foi necessário estipular as propriedades ópticas dos materiais constituintes. Assim, o ambiente simulado foi dividido de acordo com as refletâncias internas das superfícies (no caso dos materiais opacos) e transmitância à luz visível (no caso dos vidros). Assim, o teto foi considerado branco, com refletância de 80%, as paredes claras, com refletância de 50% e o piso médio, com refletância de 30%; atribuiu-se transmitância à luz visível de 0,88 aos vidros dos modelos. Esses valores, além de estarem entre os pré-estabelecidos no algoritmo do DIVA 4.0, também foram usados por Rupp (2011), e foram inseridos nos modelos simulados por meio de *layers* que permitem a configuração das propriedades. O modelo simulado com a variação nas *layers* é apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Ilustração de modelo simulado para avaliação da iluminação natural nos ambientes.



Para a integração da luz natural à artificial foram inseridos sensores que avaliam os níveis de iluminância nos pontos e automatizam o sistema de iluminação artificial, que tem sua potência adequada de acordo com o aproveitamento da luz natural. Deve-se definir as distâncias entre os sensores, a altura em relação ao piso e a direção e o sentido de avaliação das iluminâncias. Para isso, definiu-se espaçamento de 0,50m entre os sensores, 0,75m de altura em relação ao piso e direção vertical para cima para medição das iluminâncias. Esses sensores são necessários para que o programa calcule os níveis de iluminância e, conseqüentemente, o aproveitamento de iluminação natural no ambiente. Os pontos distantes a um metro das janelas e centralizados no ambiente foram inseridos como os responsáveis pela operação dos elementos internos de sombreamento. Esta posição (1m da janela) foi obtida com a aplicação de questionários na edificação avaliada nos estudos de campo. Com a aplicação de questionários, percebeu-se que a maior parte dos usuários que interagem com os elementos internos de sombreamento ocupam posições a até um metro de distância da janela.

Os elementos internos de sombreamento analisados são verticais de cor clara. Este foi o tipo encontrado nas observações realizadas em campo e, portanto, inserido nas simulações. No algoritmo do DIVA 4.0, os elementos internos de sombreamento deste tipo obstruem 100% da radiação direta e permitem a

### 3. MÉTODO

passagem de 25% da radiação difusa, quando estão completamente fechados (REINHART; NIEMASZ, 2016).

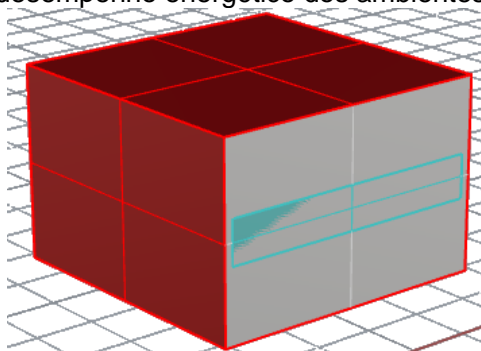
Com as simulações de iluminação natural foram geradas as *schedules* de controle do sistema de iluminação artificial que foram inseridas nas simulações do desempenho termoenergético. Os resultados mostram os níveis requeridos do sistema de iluminação em uma escala que varia de 0 a 1. Nesta escala, 0 corresponde aos momentos em que a iluminação natural garante nível de iluminância igual ou maior a 500 lux, o valor de referência a ser mantido. Enquanto 1 corresponde à iluminação operando em sua potência máxima.

Além de avaliar a iluminância, os sensores lançados serviram para identificar os momentos em que os elementos internos de sombreamento seriam fechados. O momento de fechamento coincide com a incidência de 50 W/m<sup>2</sup> de radiação no ponto de referência adotado. Assim, as *schedules* de operação dos elementos de sombreamento também foram obtidas para serem inseridas nas simulações termoenergéticas.

#### 3.3.3 Simulações do ambiente térmico

Os modelos utilizados nas simulações do ambiente térmico foram inseridos no DIVA 4.0 respeitando as implicações de não possuírem trocas térmicas nas paredes não envidraçadas, nos pisos e nos tetos. Assim, os ambientes sem trocas térmicas foram inseridos em uma *layer* com propriedades adiabáticas. A fachada envidraçada, que apresenta trocas térmicas com o meio externo, foi definida em duas *layers*: de parede e de vidro. Na Figura 12 é possível visualizar as variações na inserção dos materiais que constituem a envoltória. As propriedades inseridas nos materiais são apresentadas no tópico 3.3.1. Ao contrário das simulações de iluminação natural, as simulações de desempenho energético apresentam a parede e a janela inseridos em um mesmo plano, dado que esta é a premissa para as simulações no *EnergyPlus*, onde as janelas são inseridas coincidindo com os planos definidos como parede.

Figura 12 - Ilustração de modelo simulado para avaliação de desempenho energético dos ambientes.



As simulações do desempenho termoenergético dos modelos foi realizada no ambiente do Rhinoceros com o plugin DIVA 4.0, que utiliza o programa *EnergyPlus* para os cálculos. As simulações foram realizadas empregando o algoritmo de condução CTF (*Conduction Transfer Function*). O algoritmo de convecção adotado foi o TARP (*Thermal Analysis Research Program*). O terreno adotado foi “Cidade” e o *timestep* adotado é 4, o que corresponde a 4 cálculos de balanço de transferência de calor por hora. A Tabela 4 resume os parâmetros empregados nas simulações.

Tabela 4 - Parâmetros a serem adotados nas simulações termoenergéticas no *EnergyPlus*.

<b>Parâmetro</b>	<b>Opção escolhida</b>
Arquivo climático	Florianópolis - SWERA
Algoritmo de Condução	CTF
Algoritmo de Convecção (Interna e Externa)	TARP
Terreno	Cidade
<i>Timestep</i>	4

### 3. MÉTODO

As simulações dos elementos internos de sombreamento foram realizadas com a ferramenta *WindowMaterial:Blind*. As *schedules* de controle dos elementos internos de sombreamento foram obtidas como dados de saída das simulações de iluminação natural. Seguindo recomendações de DOE (2013), os passos para a inserção dos elementos de sombreamento foram os seguintes:

- Definiu-se a construção da janela do ambiente sem os elementos de sombreamento;
- A janela lançada foi referenciada em *FenestrationSurface:Detailed*;
- O *WindowMaterial:Blind* foi definido conforme os padrões do *plug-in* DIVA 4.0;
- Definiu-se *WindowProperty:ShadingControl* para a janela em que foi especificado que *WindowMaterial:Blind* é o elemento de sombreamento interno da janela e, então, definiu-se que o elemento interno de sombreamento foi controlado pelas *schedules* geradas com as simulações de iluminação natural.

Os elementos de sombreamento considerados foram persianas verticais em tecido claro, como os da edificação avaliada no estudo de campo. Além das observações realizadas em campo, a revisão de Kirimtat, Koyunbaba, e Chatzikonstantinou (2016) dá suporte à escolha, dado que os autores concluíram que os elementos verticais de sombreamento são os mais popularmente utilizados no interior das edificações. Conforme as especificações de Reinhart e Niemasz (2016), os elementos internos de sombreamento bloqueiam a radiação solar direta e permitem a passagem de 25% da radiação difusa incidente na fachada. Estes foram os dados inseridos aos elementos internos de sombreamento. O controle do elemento de sombreamento foi realizado pelas *schedules* de controle geradas

nas simulações de iluminação natural. Essas *schedules* são diferentes em cada padrão comportamental definido na pesquisa. A Tabela 5 resume as principais características e dados de saída desejados com as simulações no programa *EnergyPlus*.

Tabela 5 – Resumo das características das simulações no *EnergyPlus*.

<b>Parâmetro</b>	<b>Informações adicionais</b>
Sistema de resfriamento	<i>Ideal Load</i>
Controle da iluminação artificial e dos elementos internos de sombreamento	<i>Schedules</i> provenientes das simulações no de aproveitamento de iluminação natural
Principais dados de saída	Consumo anual com iluminação, equipamentos, condicionamento e consumo global

O funcionamento do sistema de climatização ocorre das 8h às 18h, com intervalo das 12h às 14h – coincidindo com o padrão de ocupação – de segunda a sexta-feira. O *setpoint* de resfriamento foi mantido em 24°C e o de aquecimento em 20°C. Escolheu-se o sistema *ideal loads* pela sua capacidade de refrigeração e aquecimento infinita, como foi apresentado por Versage (2015). Entretanto, os resultados obtidos com esse *input* são referentes às cargas térmicas dos modelos avaliados. Para determinar o consumo com resfriamento e aquecimento foi necessário dividir a carga térmica obtida pelo coeficiente de eficiência energética (W/W) de um sistema de climatização. No sistema de resfriamento, utilizou-se coeficiente de eficiência energética igual a 3,28, visando atender ao requisito mínimo para que os mesmos sejam inseridos no nível A de eficiência energética (INMETRO, 2016). No sistema de aquecimento, foi empregado coeficiente de eficiência energética de 3,55, como apresentado por Pacheco (2013). Os valores para aquecimento e resfriamento

### 3. MÉTODO

são diferentes uma vez que a capacidade nominal de resfriamento (kW) é menor que a de aquecimento e, conseqüentemente, o coeficiente de eficiência energética também é inferior. A Resolução nº 9 de 2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2003) recomenda a adoção da taxa de renovação de ar de 27 m<sup>3</sup>/h/pessoa ar em ambientes climatizados. Desta forma, as taxas de renovação de ar seguiram as recomendações técnicas. Além da renovação de ar, adotou-se 0,5 trocas de ar por hora nos ambientes simulados. Assim como o sistema de condicionamento de ar, o sistema de iluminação artificial teve seu funcionamento coincidindo com a ocupação dos modelos. O controle do sistema de iluminação artificial foi realizado de acordo com as *schedules* geradas pelas simulações de iluminação natural.

#### 3.4 Tratamento dos dados obtidos na pesquisa

Neste tópico são apresentadas as análises realizadas com os dados obtidos nesta pesquisa. Inicialmente, é apresentada a avaliação realizada com os dados qualitativos obtidos com a aplicação de questionários aos usuários avaliados. Por fim, apresentam-se as avaliações realizadas com os dados quantitativos de consumo obtidos com as simulações computacionais para mensuração de consumo das edificações.

##### 3.4.1 Avaliação dos questionários

Inicialmente foram avaliados os dados provenientes da aplicação de questionários aos usuários de ambientes compartilhados em edificações de escritório. Realizou-se análise gráfica a fim de expor as respostas obtidas com os questionários. Avaliou-se a frequência de cada uma das opções de resposta, a fim de demonstrar suas porcentagens de ocorrência. Assim, foi possível compreender quais são os fatores mais impactantes na interação (ou na ausência de interação) com os elementos internos de sombreamento.

As respostas das dezesseis questões aplicadas aos usuários foram analisadas isoladamente. Com as análises, foi

possível elaborar histogramas e gráficos de linhas para apresentar detalhadamente cada uma das questões realizadas aos usuários.

Alguns dados dos questionários foram cruzados a fim de encontrar relações entre as características observadas. Os dados de orientação foram cruzados com os de posição predominante das persianas; abertura, momento e principal motivo para a abertura das persianas; fechamento, momento e principal motivo para o fechamento das persianas. Os dados de distância entre os usuários e as janelas foram cruzados com os de abertura e fechamento das persianas.

Para os cruzamentos, realizou-se análise gráfica para expressar as frequências de cada combinação de variáveis, e os dados foram apresentados em tabelas contendo as frequências de ocorrência e as porcentagens. No caso dos cruzamentos com a orientação, as porcentagens foram calculadas considerando três situações: a primeira em relação à própria orientação, o total de usuários pertencentes àquela orientação foi considerado 100%; a segunda em relação à variável cruzada com a orientação, nesse caso o total de usuários que escolheram a opção em questão foi considerado 100%; e a terceira em relação ao total geral, onde o número total de respostas obtidas na análise foi considerado 100% para o cálculo das porcentagens.

### **3.4.2 Avaliação dos dados obtidos com simulação computacional**

Quanto às simulações termoenergéticas, os principais dados analisados foram os consumos de eletricidade pelos sistemas de iluminação artificial e condicionamento de ar. Com os dados de saída obtidos nas simulações, foram avaliados os consumos energéticos anuais (kWh/m<sup>2</sup>) do sistema de iluminação, do sistema de condicionamento de ar e o total, que inclui os consumos dos equipamentos e do sistema de aquecimento. Assim, pode-se realizar uma análise gráfica que evidencie a relação dos padrões comportamentais avaliados (dois passivos e um ativo) aos consumos energéticos anuais, de forma a conhecer os padrões de comportamento que representam os maiores e os menores consumos energéticos.



### 3. MÉTODO

Os consumos foram inseridos em tabelas a fim de tornar possível a avaliação da influência dos diferentes padrões comportamentais criados. Além disso, foram calculadas as medidas de síntese (média, mediana, quartis inferior e superior) das informações de consumo.

Com as medidas de síntese calculadas, foram criados diagramas de caixa com os consumos divididos por orientação, geometria e área de janela dos modelos. Neste caso, os diagramas de caixa compreendem aos padrões comportamentais. Isto é, para cada parâmetro da envoltória avaliado, criou-se um diagrama de caixa por padrão comportamental (dois passivos e um ativo) relacionado a três grupos de consumo: do sistema de iluminação artificial, do sistema de resfriamento e o consumo total (considerando também os equipamentos e o sistema de aquecimento). Ao todo, foram criados 90 diagramas de caixa para ilustrar e viabilizar a realização de análises dos consumos a fim de estimar as influências de diferentes padrões de comportamento dos usuários nos consumos das edificações.

Além dos diagramas de caixa, foram calculadas as médias dos consumos de iluminação, resfriamento e totais agrupados de acordo com os parâmetros variados na envoltória. Isto é, calcularam-se as médias dos consumos resultantes de cada padrão de comportamento em relação às quatro orientações, às três geometrias e às três áreas de janela. Com exceção dos consumos de iluminação, calcularam-se as variações percentuais no consumo dos usuários. Para isso, escolheu-se o usuário passivo que mantém os elementos internos de sombreamento abertos durante o ano inteiro como o caso base. A partir das médias de consumo foram calculadas as variações percentuais dos outros padrões de comportamento. Os percentuais de variação em relação ao sistema de iluminação não foram calculados pelo fato de, nesse sistema, algumas combinações de envoltória e padrão de comportamento resultaram em consumos próximos de zero. Deste modo, avaliações percentuais poderiam distorcer a interpretação dos resultados.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a realização desta pesquisa. Os resultados são referentes aos estudos realizados em Florianópolis, com aplicação de questionários a usuários de salas compartilhadas de uma edificação de escritório. As respostas obtidas permitiram a criação de padrões de comportamento dos usuários em relação à interação com elementos internos de sombreamento, que foram inseridos nas simulações energéticas realizadas em modelos criados.

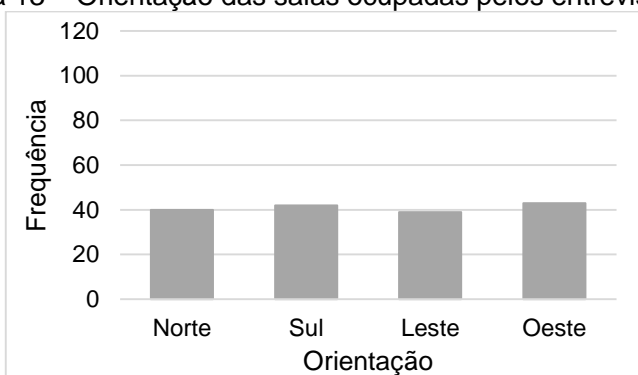
#### 4.1 Análise das respostas levantadas com os questionários

Dos 164 usuários, 33 (20,1% do total) ocupam salas no primeiro pavimento, 41 (25,0% do total) no segundo pavimento, 51 (31,1% do total) no terceiro pavimento e 39 (23,8% do total) no quarto pavimento. Apesar de avaliar diferentes pavimentos, não foi encontrada relação entre o pavimento e as variações nos comportamentos dos usuários. Os diferentes pavimentos avaliados sofrem pouca influência do entorno, dado que nas orientações norte e leste existe o estacionamento que separa o edifício avaliado dos demais, que ficam a 20 m (direção norte) e 16 m (leste). Em ambas as orientações, os prédios mais próximos possuem dois pavimentos. Na direção leste, também há um prédio com doze pavimentos, entretanto, o mesmo fica a aproximadamente 60 m de distância do objeto de estudo. Na fachada sul, não há edificações próximas ao objeto de estudo, pois ela é voltada para a rua. A fachada oeste é a que possui edificações mais próximas, a 8 m de distância, entretanto, as mesmas possuem alturas inferiores (um ou dois pavimentos).

Wymelenberg (2012) concluiu que a orientação é um dos fatores de maior influência na interação dos usuários com elementos internos de sombreamento. Deste modo, esta característica foi levantada com a aplicação de questionários. A avaliação da orientação das salas resultou na Figura 13. Nela, é possível constatar que 40 usuários (24,4% do total) ocupam salas orientadas a norte, 42 (25,6% do total) têm suas salas orientadas

a sul, 39 (23,8% do total) ocupam salas com orientação leste e 43 (26,2% do total) estão inseridos em ambientes com orientação oeste. Buscou-se entrevistar os usuários de modo que as orientações fossem representadas da maneira mais homogênea possível, a fim de os resultados não serem tendenciosos, dado que diferentes orientações recebem diferentes valores de radiação direta e, conseqüentemente, podem influenciar nas interações dos usuários com o ambiente a fim de adequá-lo às suas necessidades.

Figura 13 – Orientação das salas ocupadas pelos entrevistados.



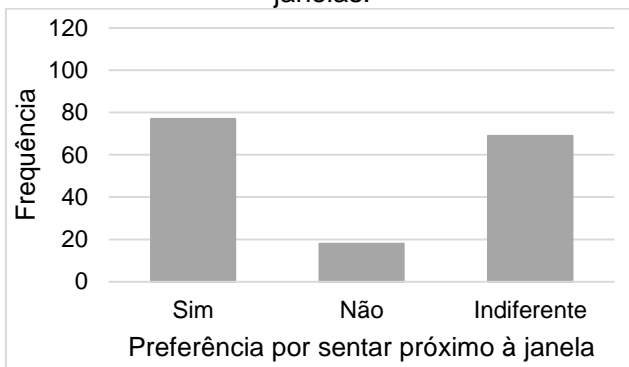
Quanto às posições dos usuários nos ambientes, foram levantadas duas questões: a distância entre os mesmos e a janela, e a posição da janela em relação ao usuário. Para avaliar as distâncias entre os usuários e a janela, estabeleceram-se três faixas de distância após visita prévia ao local de aplicação dos questionários. Percebeu-se a existência de planos de trabalho localizados próximos às janelas, e, conseqüentemente, mais sujeitos à radiação solar. Com a aplicação dos questionários, concluiu-se que a maioria dos usuários (51,2% do total) ocupa posições entre um e três metros da janela. Entretanto, 36,6% dos usuários (60 pessoas) estão posicionados a até um metro da janela. O restante ocupa posições a mais de três metros. Posteriormente, o dado distância entre os usuários e as janelas foram cruzados com as interações dos usuários visando ajustar os elementos internos de sombreamento e concluiu-se que usuários

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

mais próximos tendem a se comportar mais ativamente na adequação dos ambientes. Quanto à posição das janelas em relação aos usuários, concluiu-se que 34 pessoas (20,7% do total) têm a janela posicionada à frente de seu plano de trabalho, 69 (42,1% do total) têm a janela posicionada em suas costas, e 61 (37,2%) têm a janela localizada ao lado do seu plano de trabalho. No início da pesquisa, acreditava-se que a posição das janelas influenciasse na interação dos usuários com os elementos internos de sombreamento. Entretanto, com a realização dos levantamentos em campo, percebeu-se que a orientação e a distância dos usuários em relação à janela são mais determinantes nas interações dos usuários com os elementos internos de sombreamento. Os gráficos destas análises são apresentados no Apêndice C.

A maioria dos usuários declarou sentir preferência por lugares próximos às janelas, como é mostrado na Figura 14. Dos entrevistados, 77 pessoas (47,0% do total) declararam que preferem locais próximos às janelas, 18 (11,0%) afirmaram que não têm preferência por locais mais próximos às janelas e 69 (42,0%) mostraram-se indiferentes em relação à distância da janela ao seu plano de trabalho. Zhang e Barrett (2012) aplicaram questionários a usuários de edificações de escritório no norte da Inglaterra e concluíram que mais de 50% dos usuários sentem preferência por locais próximos às janelas e menos de 20% declararam não preferir locais próximos às janelas. Estes valores, apesar de obtidos em realidades climáticas distintas, corroboram os obtidos no estudo de caso desta pesquisa.

Figura 14 – Preferência dos usuários por sentar próximo às janelas.

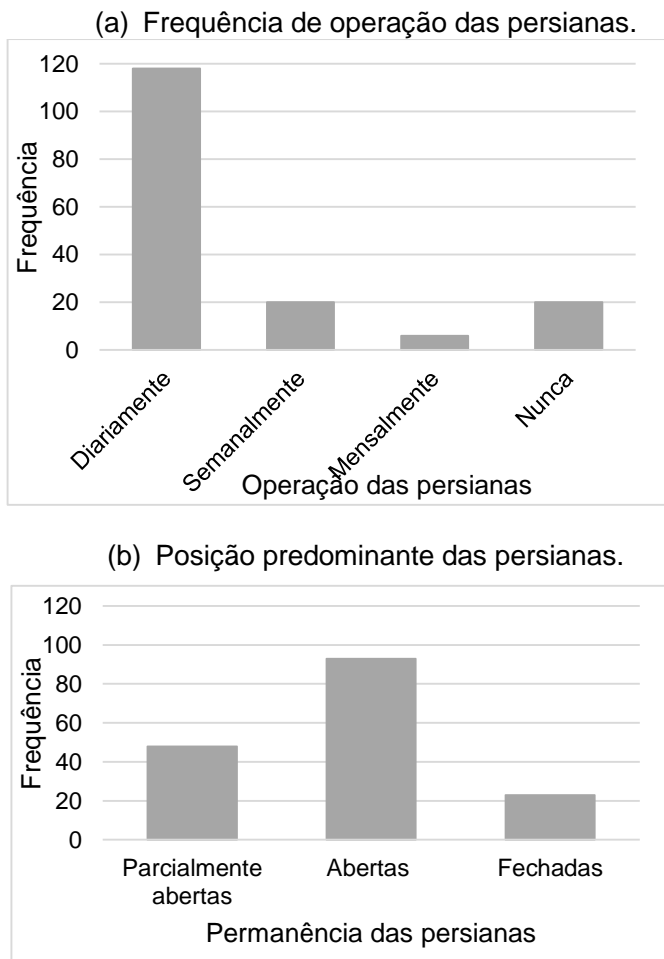


Levantou-se a percepção dos usuários quanto à operação dos elementos internos de sombreamento e sua consequente posição predominante no ambiente de trabalho. A frequência de operação é apresentada na Figura 15 (a). Constatou-se que, para a maioria dos usuários, os ajustes são realizados diariamente. Esta opção foi escolhida por 118 pessoas (72,0% do total). Entretanto, isso não significa que 72,0% dos usuários ajustam as persianas diariamente, afinal as avaliações foram realizadas em ambientes compartilhados e os ajustes observados pelos usuários englobam tanto as próprias atitudes quanto as dos colegas. No extremo da não interação, percebeu-se que 20 usuários (12,2% do total) afirmaram que as persianas nunca são ajustadas em seu ambiente. Apesar de conflitante com a maioria dos usuários, a baixa frequência de ajustes durante o ano inteiro foi percebida nos ambientes com orientação sul. Deste modo, as variações obtidas são válidas dado que os comportamentos observados são distintos de acordo com as orientações dos ambientes. Em conversas realizadas com os usuários no ambiente de trabalho, percebeu-se que eles tendem a operar os elementos internos de sombreamento, no máximo, uma vez por dia com o mesmo intuito. Isto é, uma vez visando abertura e uma vez visando fechamento dos mesmos. A percepção dos usuários a respeito da posição predominante dos elementos internos de sombreamento no ambiente de trabalho é apresentada na Figura 15 (b). Concluiu-se que as persianas passam a maior parte do tempo abertas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Noventa e três usuários (56,7% do total) escolheram esta opção. Durante a aplicação dos questionários, percebeu-se a maioria dos elementos internos de sombreamento abertos ao longo do dia nos ambientes, o que corrobora as respostas obtidas.

Figura 15 – Frequência de interação e posição predominante das persianas.

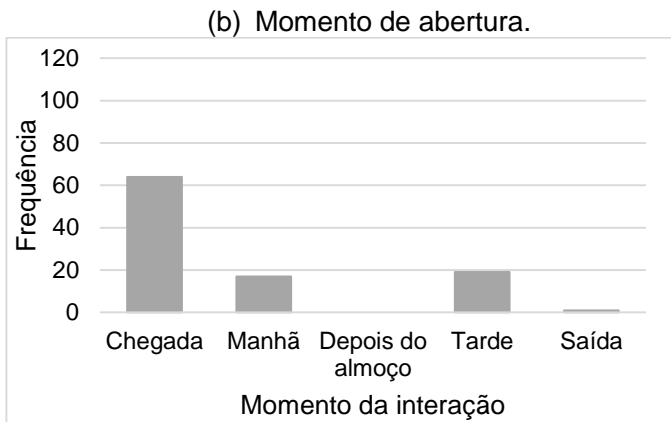
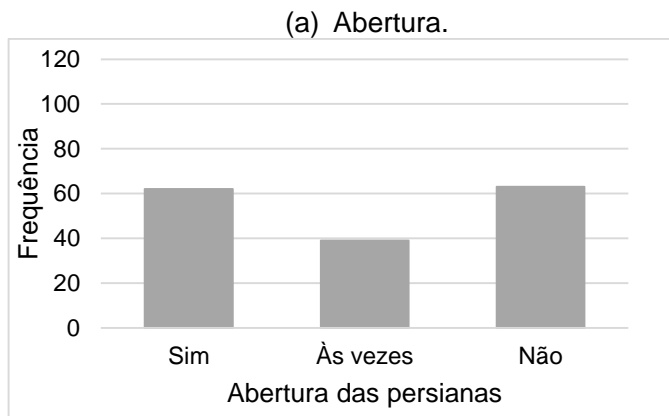


Perguntou-se aos usuários sobre a abertura dos elementos internos de sombreamento e as respostas são apresentadas a seguir. Na Figura 16 (a) são apresentadas as respostas dos usuários sobre suas interações visando abertura. Os resultados mostram que a maioria dos usuários abre os elementos internos de sombreamento no ambiente de trabalho, alguns com maior e outros com menor frequência. Ao todo, tem-se que, dos 164 usuários, 101 os abrem, independente da frequência, o que corresponde a 61,6% dos entrevistados. Os outros 63 usuários (38,4% do total) afirmaram que não os abrem. Entretanto, apesar de mais de 35,0% dos usuários declararem não abrir os elementos internos de sombreamento, isso não significa que os mesmos passem o dia inteiro fechados, afinal, tratam-se de salas compartilhadas e a presença de usuários ativos pode corroborar a manutenção de comportamentos passivos de outros usuários. Com a elevada porcentagem de ocupantes declarando que abrem os elementos internos de sombreamento no ambiente de trabalho, investigou-se os principais motivos e momentos dessas aberturas. Os resultados são apresentados nas Figura 16 (b) e (c), respectivamente. Dentre os 101 usuários que declararam abrir os elementos internos de sombreamento, 64 (63,4% do total) o fazem no momento de chegada ao ambiente. O motivo de abertura mais relatado pelos usuários foi a sensação de conforto proporcionada pela luz natural; ao todo, 55,5% do total de usuários ativos consideraram este como o principal motivo de abertura.

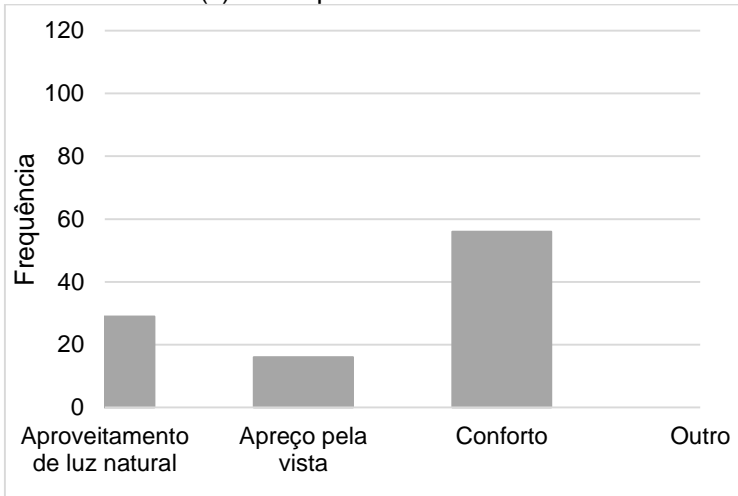


## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 16 – Particularidades das interações dos usuários com as persianas visando sua abertura.



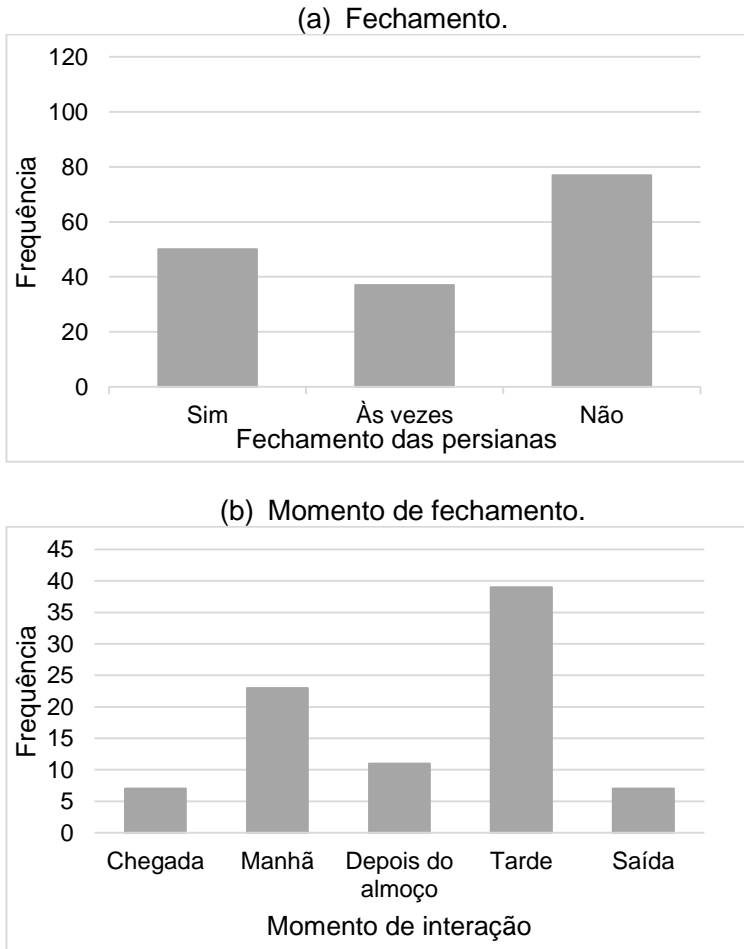
(c) Principal motivo de abertura.



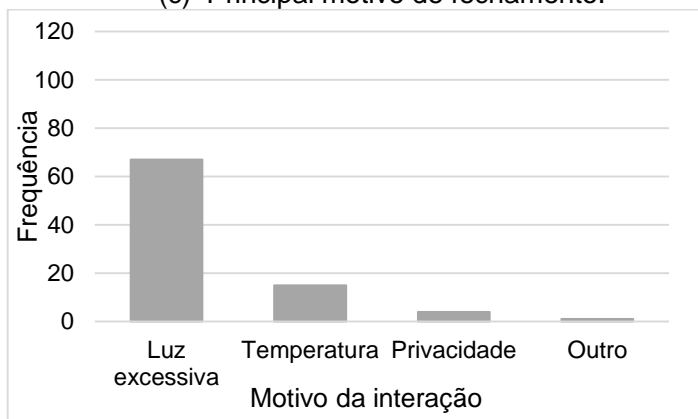
Avaliaram-se as interações dos usuários com os elementos internos de sombreamento visando seu fechamento e os resultados são apresentados a seguir. Na Figura 17 (a) são apresentadas as respostas dos usuários em relação ao fechamento. Dentre os 164 usuários que participaram da pesquisa, 87 usuários (53,1% do total) interagem com os elementos internos de sombreamento visando seu fechamento, independente da frequência. Os outros 77 usuários (46,9% do total) responderam que não os fecham. Aos 87 usuários ativos em relação ao fechamento, perguntou-se sobre os momentos das interações e seus principais motivos. Os resultados são apresentados nas Figura 17 (b) e (c), respectivamente. Dentre os 87 usuários ativos observados neste tópico da pesquisa, 39 (44,8% do total) responderam que fecham os elementos internos de sombreamento no período vespertino, sem um horário específico. O segundo momento mais frequente para o fechamento foi o período matutino, relatado por 23 usuários (26,5% do total). Quanto ao principal motivo para o fechamento, tem-se que a maioria dos usuários o faz quando se sente incomodada com a luz excessiva proveniente da radiação solar. Esta é a resposta de 67 usuários (77,0% do total).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 17 – Particularidades das interações dos usuários com as persianas visando seu fechamento.



(c) Principal motivo de fechamento.

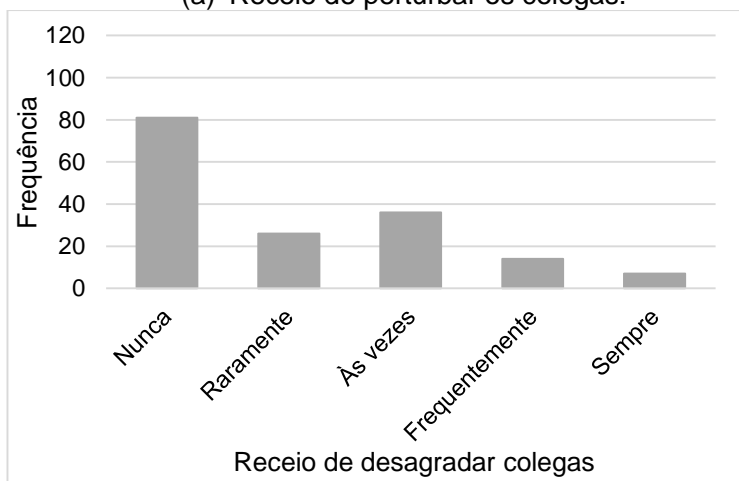


Em ambientes compartilhados, como os do edifício avaliado nesta pesquisa, comportamentos passivos são observados porque existem usuários que se comportam ativamente, permitindo que outros ocupantes do ambiente tenham as modificações realizadas. No edifício avaliado, 38,4% dos usuários declararam que não abrem os elementos internos de sombreamento, e 46,9% declararam que não os fecham. Percebeu-se que alguns usuários que declararam não fechar os elementos internos de sombreamento, por exemplo, não o fazem porque seus colegas tomam a iniciativa com mais frequência. Assim, é possível perceber que existem usuários que ficam, implicitamente, responsáveis pelos ajustes das persianas. Estes usuários tendem a ser os que ocupam lugares mais próximos das janelas. Além disso, percebeu-se que alguns usuários operam os elementos internos de sombreamento no momento da saída e evitam adequá-las durante o expediente por receio de desagradar os colegas de sala. Nesse sentido, encontraram-se casos de usuários que abrem os elementos internos de sombreamento no momento de saída, porém declarando que o principal motivo para isso é o apreço pela vista exterior. Deste modo, concluiu-se que estes usuários tendem a ajustar o ambiente de trabalho em momentos que não desagradarão colegas de sala com o intuito de, no dia seguinte, a ação não precisar ser realizada na presença dos colegas.

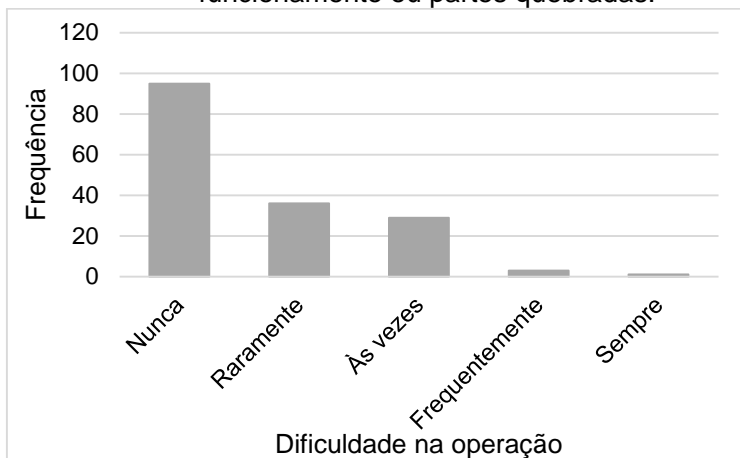
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por se tratar de salas de escritório compartilhadas, existe a possibilidade de usuários não adequarem o ambiente por receio de desagradar os colegas, como foi apresentado por Foster e Oreszczy (2001). Deste modo, questionou-se aos usuários se eles evitam interagir com os elementos internos de sombreamento por esse motivo e os resultados são apresentados na Figura 18 (a). Considerando as opções “nunca” e “raramente” mais negativas à afirmação, tem-se que 107 usuários (65,2% do total) não se mostram receosos de perturbar os colegas de sala. Considerando as opções “frequentemente” e “sempre” como mais positivas à afirmação, tem-se que 21 usuários (12,8% do total) se mostram receosos em perturbar os colegas. Zhang e Barrett (2012) levantaram a possibilidade de os usuários não interagirem com os elementos internos de sombreamento por dificuldades encontradas na interação. Assim, perguntou-se aos usuários se eles deixam de interagir com os elementos internos de sombreamento por dificuldades causadas por mau funcionamento ou partes quebradas. Na Figura 18 (b) são apresentadas as respostas dos usuários sobre a hipótese anterior. A maioria dos usuários (57,9% do total) declarou nunca ter deixado de interagir com os elementos internos de sombreamento por esses motivos.

Figura 18 – Resposta dos usuários sobre evitar a interação por:  
(a) Receio de perturbar os colegas.



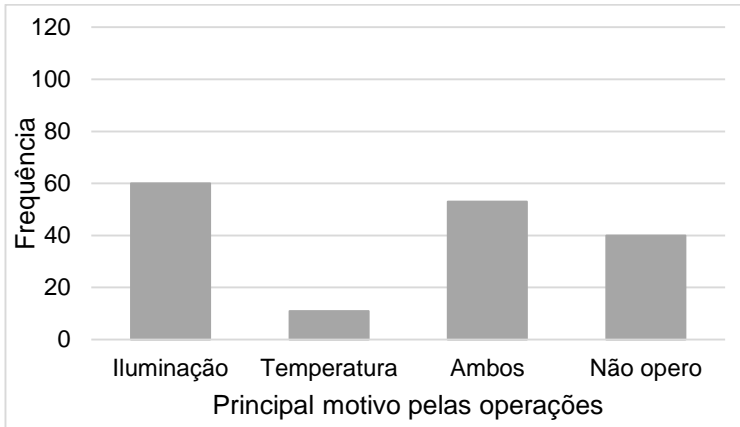
(b) Dificuldades na operação causadas por mau funcionamento ou partes quebradas.



Os usuários foram questionados sobre o principal motivo para ajustar os elementos internos de sombreamento (tanto abertura quanto fechamento). Os resultados obtidos são mostrados na Figura 19. Dos 164 entrevistados, 60 (36,6% do total) responderam que o desconforto com iluminação é o principal motivo de operação, 11 usuários (6,7% do total) responderam que o desconforto com o ambiente térmico é a principal causa de interação, 53 usuários (32,3% do total) afirmaram que insatisfação tanto com a iluminação quanto com a temperatura os motivam a realizar ajustes, e 40 usuários (24,4% do total) afirmam que não ajustam os elementos internos de sombreamento. Desconsiderando os usuários que não operam os elementos internos de sombreamento, tem-se que, dos 124 que operam, 113 (mais de 90,0%) o fazem por alguma relação com a iluminação do ambiente.

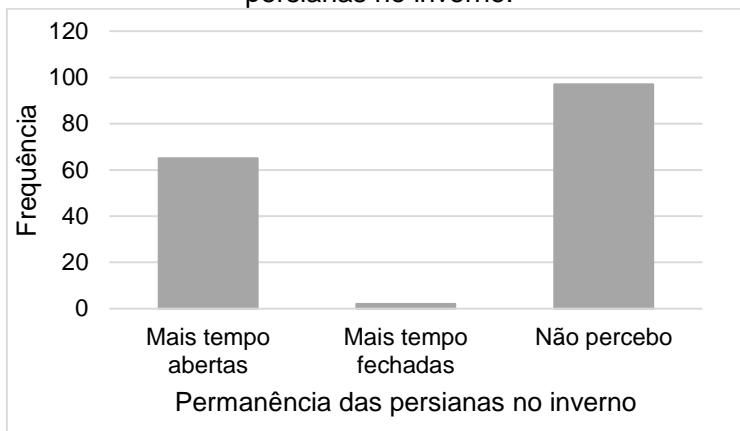
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 19 – Principal motivo de operação das persianas nos ambientes avaliados.



Wymelenberg (2012) sugeriu que se investigue se há maior aceitação de luz solar nos ambientes durante o inverno. Deste modo, perguntou-se aos usuários se eles percebem variação na permanência dos elementos internos de sombreamento durante o inverno. Os resultados obtidos com essa questão são apresentados na Figura 20. Dos 164 usuários, 65 (39,6% do total) responderam que percebem os elementos internos de sombreamento mais tempo abertos, dois usuários (1,2% do total) os percebem mais tempo fechados, e 97 usuários (59,2% do total) não percebem diferença entre as posições predominantes durante o verão e o inverno.

Figura 20 – Percepção dos usuários sobre a permanência das persianas no inverno.



#### 4.2 Cruzamento dos dados levantados com os questionários

Com a obtenção de respostas às questões aplicadas aos usuários, foi possível realizar cruzamentos entre as informações a fim de determinar as seguintes relações:

- Orientação x posição mais frequente dos elementos internos de sombreamento;
- Orientação x abertura dos elementos internos de sombreamento;
- Orientação x momento de abertura;
- Orientação x motivo predominante de abertura;
- Orientação x fechamento dos elementos internos de sombreamento;
- Orientação x momento de fechamento;
- Orientação x motivo predominante do fechamento;
- Distância da janela x abertura;
- Distância da janela x fechamento;

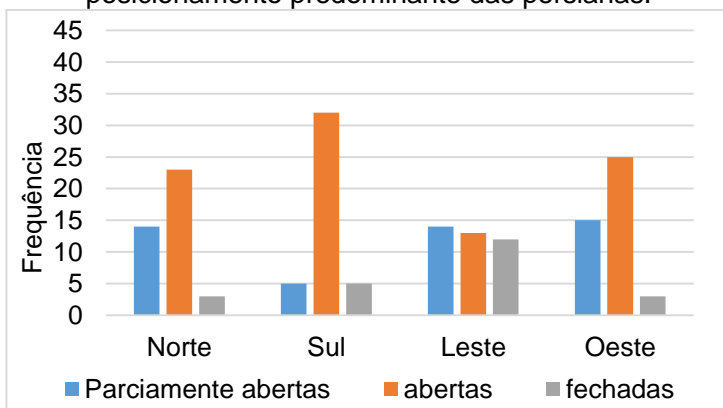
Cruzando os dados de orientação dos ambientes ocupados com os dados de posicionamento predominante dos elementos internos de sombreamento, foi possível conhecer



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

algumas diferenças no comportamento dos usuários. As diferentes posições predominantes obtidas para as quatro orientações avaliadas são apresentadas na Figura 21. A maior frequência de usuários que mantêm os elementos internos de sombreamento parcialmente abertos ou abertos foi encontrada nos ambientes com orientação sul. Quando somadas, as opções correspondem a 88,1% do total de usuários desta orientação. Das quatro orientações avaliadas, a que teve o maior número de usuários que os mantêm fechados durante o expediente foi a leste. Esse resultado pode ser interpretado pelo fato de a orientação leste receber radiação solar direta no período matutino, o que motiva a interação dos usuários visando fechamento dos elementos internos de sombreamento. Como os usuários tendem a abri-los na chegada e fechá-los quando se sentirem desconfortáveis, caso o fechamento ocorra pela manhã, existe a possibilidade deles serem mantidos fechados durante o resto do dia. Com isso, usuários de ambientes orientados a leste podem se tornar passivos quanto à operação dos elementos internos de sombreamento ao longo do tempo. Ao contrário da orientação sul, o comportamento passivo resultante da movimentação solar e consequente incidência de radiação direta na fachada leste no período matutino, faz com que o aproveitamento de iluminação natural seja inferior nesses ambientes.

Figura 21 – Relação entre a orientação dos ambientes e o posicionamento predominante das persianas.



Optou-se por expor os resultados obtidos com o cruzamento da orientação e posição predominante dos elementos internos de sombreamento por meio de tabelas, além dos resultados gráficos, a fim de mostrar as informações em termos de frequências e porcentagens. As informações numéricas sobre o cruzamento das variáveis avaliadas são apresentadas na Tabela 6. O cruzamento das orientações (norte, sul, leste e oeste; expressas nas linhas) com as posições dos elementos internos de sombreamento (parcialmente abertos, abertos e fechados; expressas nas colunas) traz informações sobre a frequência de cada combinação e suas respectivas porcentagens considerando três situações: por orientação, por posição dos elementos de sombreamento e em relação ao total geral. Esses cálculos são apresentados em subdivisões das orientações. Desta forma, em cada orientação as porcentagens foram calculadas considerando diferentes totais. No caso da porcentagem por orientação, a soma das linhas resulta em 100,0% (observando a orientação norte, por exemplo, tem-se 35,0% dos elementos internos de sombreamento parcialmente abertos, 57,5% abertos e 7,5% fechados). No caso da porcentagem por posição dos mesmos, os cálculos foram realizados considerando o total de cada posição predominante como 100%. Além disso, cada uma das posições avaliadas pode ser analisada de acordo com a orientação da sala. Considerando os elementos que passam a maior parte do tempo fechados, por exemplo, tem-se 13,0% deles orientados para norte, 21,7% para sul, 52,2% em orientação leste e 13,0% a oeste. O terceiro cálculo de porcentagem foi realizado em relação ao total geral e mostra a participação de cada combinação de orientação e posição predominante em relação às 164 respostas obtidas com a aplicação dos questionários.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tabela 6 - Relação entre a orientação dos ambientes e o posicionamento predominante das persianas expressa em termos de frequência e porcentagem.

Orientação		Posição das persianas			Total
		Parcialmente abertas	Abertas	Fecha-das	
Norte	Frequência	14	23	3	40,0
	% por orientação	35,0%	57,5%	7,5%	100%
	% por posição das persianas	29,2%	24,7%	13,0%	-
	% do total geral	8,5%	14,0%	1,8%	24,4%
Sul	Frequência	5	32	5	42,0
	% por orientação	11,9%	76,2%	11,9%	100%
	% por posição das persianas	10,4%	34,4%	21,7%	-
	% do total geral	3,0%	19,5%	3,0%	25,6%
Leste	Frequência	14	13	12	39
	% por orientação	35,9%	33,3%	30,8%	100%
	% por posição das persianas	29,2%	14,0%	52,2%	-
	% do total geral	8,5%	7,9%	7,3%	23,8%
Oeste	Frequência	15	25	3	43
	% por orientação	34,9%	58,1%	7,0%	100%

Tabela 6 - Relação entre a orientação dos ambientes e o posicionamento predominante das persianas expressa em termos de frequência e porcentagem (continuação).

Orientação		Posição das persianas			Total
		Parcialmente abertas	Abertas	Fechadas	
<b>Oeste</b>	% por posição das persianas	31,3%	26,9%	13,0%	-
	% do total geral	9,1%	15,2%	1,8%	26,2%
<b>Total</b>	Frequência	48	93	23	164
	% por posição das persianas	100,0%	100,0%	100,0%	-

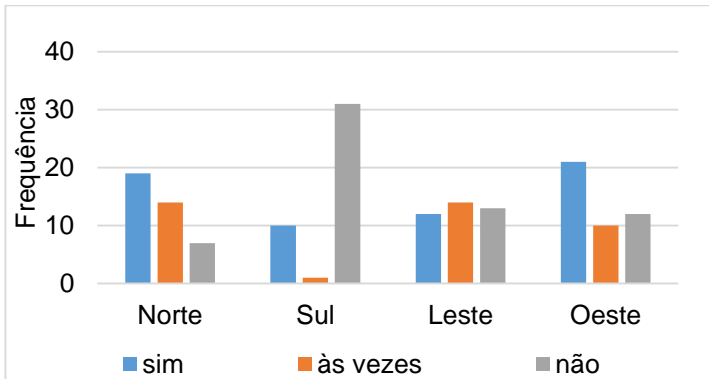
Os demais cruzamentos realizados são apresentados de forma gráfica. As informações numéricas a respeito das frequências e porcentagens respectivas obtidas com os cruzamentos são apresentadas no Apêndice D.

Realizou-se o cruzamento entre os dados de orientação e fatores relacionados à abertura dos elementos internos de sombreamento. Percebeu-se variação em fatores subjetivos, como os motivos para a abertura, nas orientações avaliadas. Entretanto, percebeu-se consistência nos momentos de abertura, mesmo em diferentes orientações. Na Figura 22 são apresentadas relações entre a orientação e as características da abertura dos elementos de sombreamento em três partes. Na Figura 22(a) são apresentadas as interações dos usuários com os elementos internos de sombreamento de acordo com a orientação dos modelos. Na Figura 22(b) apresentam-se as relações entre a orientação dos ambientes e o principal momento de abertura. Na Figura 22(c) são apresentadas as relações entre a orientação dos ambientes e o principal motivo para a abertura.

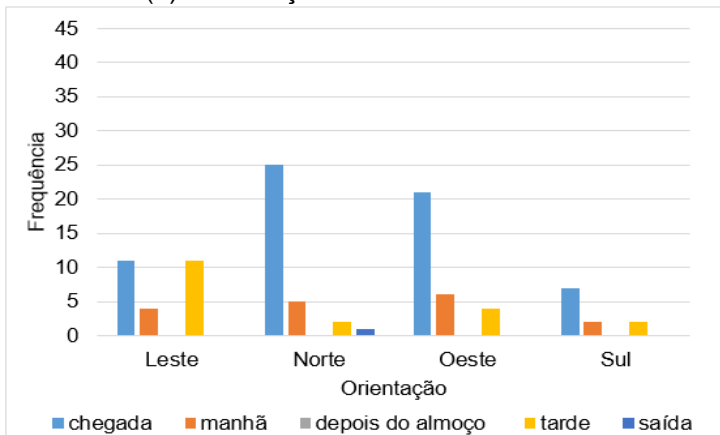
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 22 – Relação entre a orientação dos ambientes e fatores relacionados à abertura dos elementos internos de sombreamento.

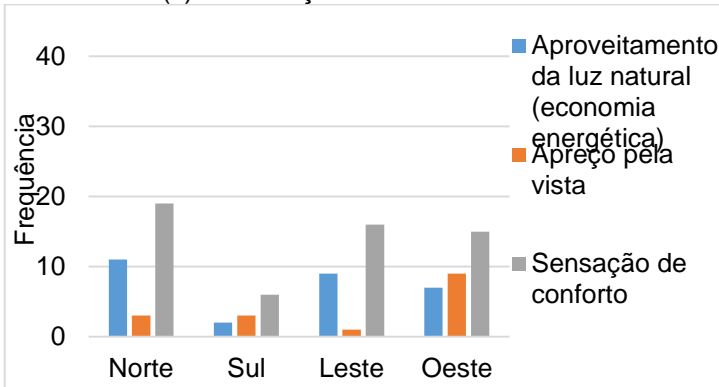
(a) Orientação x abertura dos elementos internos de sombreamento.



(b) Orientação x momento de abertura.



(c) Orientação x motivo de abertura.



Encontrou-se discrepância entre as interações dos usuários que ocupam salas de orientação sul e os demais. Enquanto 73,8% dos usuários que ocupam salas com orientação sul afirmaram que não abrem os elementos internos de sombreamento do ambiente de trabalho, na orientação norte, por exemplo, 17,5% deles têm comportamento semelhante. Na orientação norte, percebeu-se a maior quantidade de usuários que abrem os elementos internos de sombreamento. Considerando as opções “sim” e “às vezes”, tem-se que 82,5% dos usuários de ambientes com esta orientação os abrem. Considerando-se o total de usuários avaliados (164), tem-se que 49,2% de todos os que declararam não abrir os elementos internos de sombreamento ocupam salas com orientação sul, mais que o dobro da porcentagem observada nas outras três orientações. Entretanto, é importante não confundir a “não abertura” com a preferência por janelas obstruídas. Em conversas com os usuários da orientação sul, percebeu-se que eles não abrem os elementos internos de sombreamento porque são mantidos abertos durante a maior parte do ano. Reclamações a respeito do desconforto causado pela radiação solar incidente foram mais comuns nas outras orientações avaliadas (norte, leste e oeste), enquanto os usuários da orientação sul relataram frequência menor desse acontecimento. Zhang e Barrett (2012) concluíram, em um estudo realizado na Inglaterra, que usuários que ocupam ambientes com orientação norte apresentam comportamentos mais passivos

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

quanto ao ajuste dos elementos internos de sombreamento. Por se tratar de hemisfério norte, as fachadas orientadas a norte são as que recebem menores valores de radiação direta. Deste modo, os dados obtidos com os levantamentos realizados em campo podem ser confirmados na revisão de literatura. Afinal, para Florianópolis, a fachada com menos incidência de radiação direta é a sul.

Analisando-se as porcentagens por orientação, tem-se que, com exceção de leste, as orientações avaliadas apresentam mais de 60,0% dos usuários que abrem os elementos internos de sombreamento ao chegarem ao escritório. Avaliando as porcentagens calculadas em relação ao total geral, tem-se que 63,4% dos usuários abrem as persianas quando chegam ao escritório. Isso corrobora a hipótese de as interações acontecerem em dois momentos do dia: a primeira quando os usuários chegam ao ambiente de trabalho (abertura) e a segunda em algum momento do dia em que se sentirem desconfortáveis com o ambiente visual ou térmico (fechamento).

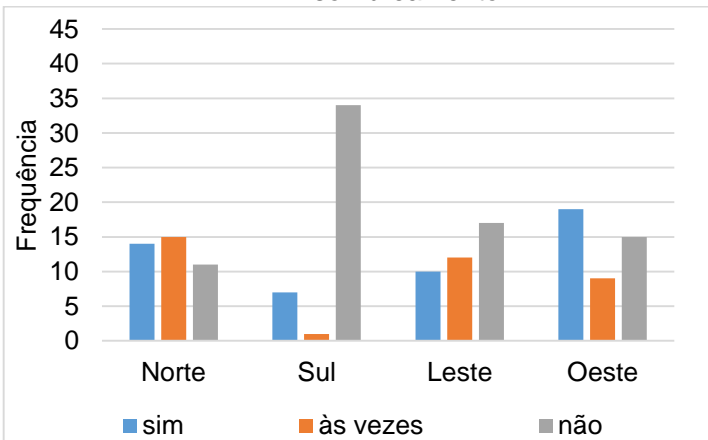
Quanto à relação entre a orientação e o principal motivo de abertura dos elementos internos de sombreamento, percebe-se que, independente da orientação, os usuários consideram a sensação de conforto proporcionada pela luz natural o principal motivo para a interação. O total de usuários que classificaram este como o principal motivo para a abertura dos elementos internos de sombreamento soma 55,4% dos entrevistados. Quanto ao apreço pela vista exterior, tem-se a maior diferença entre as orientações. Enquanto 3,8% dos usuários que ocupam ambientes com orientação leste julgam o apreço pela vista exterior como o principal motivo de abertura, nos ambientes orientados a oeste este número soma 29,0%. Na edificação estudada, tem-se que, para as orientações com vistas para o exterior menos agradáveis (norte e leste, que garantem vista para o estacionamento), os elementos internos de sombreamento são abertos mais frequentemente para aproveitamento de luz natural do que para apreço pela vista exterior. Ao contrário das orientações sul e oeste, que possuem vistas mais agradáveis (rua e praça), onde os usuários desobstruem as janelas visando apreço à vista exterior com mais frequência do que o aproveitamento da luz natural.

Deste modo, destaca-se que o apreço pela vista exterior está condicionado a particularidades do entorno dos edifícios.

O cruzamento entre os dados de orientação e fatores relacionados ao fechamento dos elementos internos de sombreamento foi realizado e os resultados são apresentados na Figura 23. Na Figura 23(a) são apresentadas as interações dos usuários com os elementos internos de sombreamento de acordo com a orientação dos modelos. Na Figura 23(b) apresentam-se as relações entre a orientação dos ambientes e o principal momento de fechamento. Na Figura 23(c) são apresentadas as relações entre a orientação dos ambientes e o principal motivo para o fechamento. Neste caso, percebe-se variação entre os momentos de fechamento nas diferentes orientações, mas maior consonância na avaliação dos motivos de fechamento. A orientação com maior porcentagem de usuários que não fecham os elementos internos de sombreamento é a sul, dado que os mesmos passam a maior parte do ano abertos, como relatado pelos usuários.

Figura 23 - Relação entre a orientação dos ambientes e as interações dos usuários visando o fechamento das persianas.

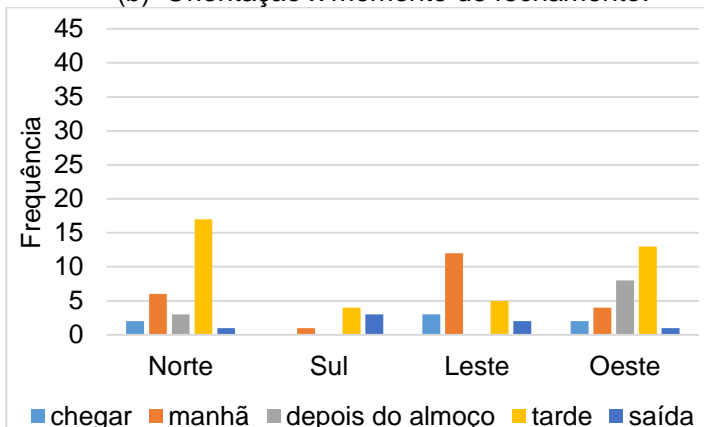
(a) Orientação x fechamento dos elementos internos de sombreamento.



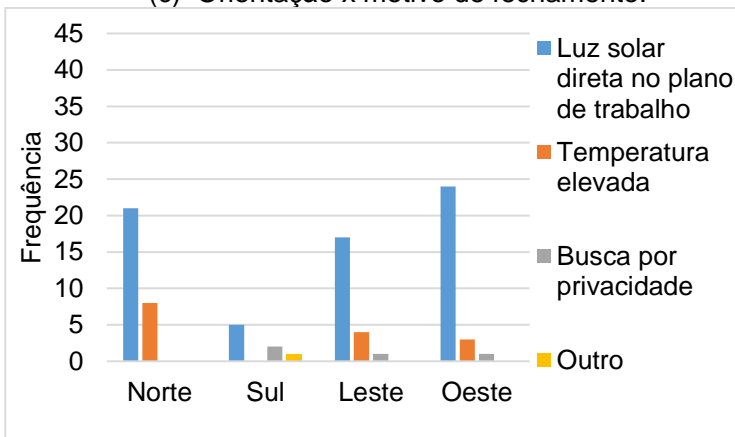


## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

(b) Orientação x momento de fechamento.



(c) Orientação x motivo de fechamento.



De modo similar às observações realizadas a respeito da abertura dos elementos internos de sombreamento, a orientação sul é a que possui maior frequência de usuários que não as fecham. Avaliando-se a porcentagem por orientação, é perceptível que a interação dos usuários que ocupam lugares com orientação sul é menos frequente quando comparada a outras orientações. Enquanto 19,0% (somatório das respostas “sim” e “às vezes”) dos usuários de ambientes com orientação sul fecham os elementos

internos de sombreamento e 81,0% não fecham; para norte, por exemplo, tem-se 72,5% dos usuários que interagem visando fechamento e 27,5% que não interagem. Percebe-se grande variação comportamental entre as orientações sul (menor interação) e as demais (maiores interações). A não interação é devida à baixa incidência solar direta nas aberturas, conforme relatado pelos usuários. Nas demais orientações, percebe-se uma distribuição mais uniforme nas respostas dos usuários.

A maioria dos usuários de ambientes orientados a leste relatou fechar os elementos internos de sombreamento no período matutino. Para os usuários de ambientes com orientações norte, sul e oeste, o principal momento de fechamento é o período vespertino.

As maiores diferenças encontradas nos momentos de fechamento foram em relação às orientações leste e oeste. Enquanto nos ambientes orientados a leste a maioria dos usuários (54,5%) afirma fechar os elementos internos de sombreamento no período matutino, nos que possuem orientação oeste o momento mais frequente de fechamento é o período vespertino, relatado por 46,4% dos usuários. Dentre os usuários que os fecham na saída, 42,9% ocupam ambientes com orientação sul. Este valor pode ser explicado pela fachada sul estar voltada para a rua, e os usuários preferirem obstruir a vista ao ambiente interno durante o período noturno. O fechamento dos elementos internos de sombreamento depois do almoço foi relatado por usuários de ambientes com orientação norte e oeste, sendo o segundo mais frequente em ambientes com orientação oeste (onde 28,6% fecham as persianas nesse momento). Pela carta solar de Florianópolis, tem-se que as orientações norte e oeste são as que mais recebem radiação solar direta no período vespertino, inclusive no início da tarde. Deste modo, relacionando-se os principais motivos de fechamento (excesso de luz solar direta no plano de trabalho e temperatura elevada) percebe-se que os usuários de ambientes com orientação norte seguem esta linha comportamental.

Percebe-se que, independente da orientação, os usuários consideram a radiação solar no plano de trabalho como o principal motivo de fechamento. Nos ambientes orientados a leste, 72,4% dos usuários escolheram essa opção; nos ambientes orientados a sul, 62,5%; nos ambientes orientados a oeste, 77,3%; e, nos

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

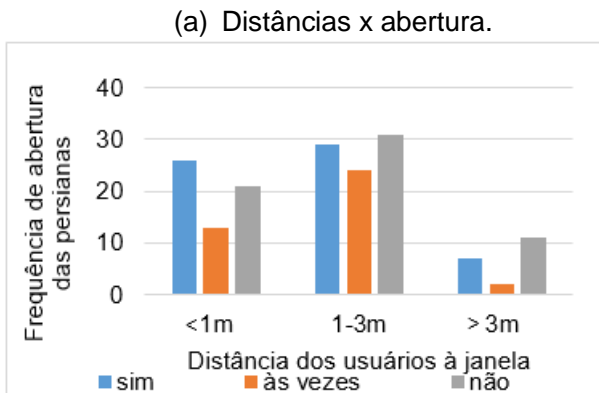
ambientes orientados a oeste, tem-se a maior porcentagem registrada: 85,7%. Nas orientações norte, leste e oeste a temperatura elevada foi o segundo motivo mais frequente para o fechamento, de acordo com os usuários. A temperatura elevada como motivo de fechamento nessas fachadas pode ser explicada considerando que, para a latitude de Florianópolis, estas fachadas são as que recebem maior incidência de radiação solar direta ao longo do ano. Nos ambientes orientados a sul, leste e oeste, percebeu-se preocupação com a privacidade nos ambientes, sendo que esse motivo foi relatado por alguns usuários. Em relação ao prédio avaliado, este fato pode ser explicado pela fachada sul possuir vista para a rua, enquanto a fachada norte garante vista para o estacionamento e os fundos dos prédios vizinhos, o que não implica em redução de privacidade quando as persianas estão abertas. As fachadas leste e oeste têm vista para os lados de prédios vizinhos, mesmo que os mesmos não estejam localizados imediatamente ao lado do edifício de estudo, percebeu-se que há usuários que fecham os elementos internos de sombreamento visando privacidade. Um usuário de um ambiente com orientação sul afirmou que seu principal motivo de fechamento é o brilho excessivo proveniente do exterior. Avaliando sua posição, percebeu-se que o mesmo ocupa local de frente para a janela com vista para um muro branco, localizado do outro lado da rua. O brilho excessivo relatado pelo usuário pode ser explicado pela alta refletividade da cor branca, que acaba ofuscando o mesmo em sua estação de trabalho.

Percebeu-se maior porcentagem de usuários que interagem com os elementos internos de sombreamento visando abertura em relação ao fechamento dos mesmos. Observou-se que alguns usuários não os fecham por não se sentirem desconfortáveis na estação de trabalho. Afinal, os primeiros a serem incomodados com o excesso de radiação solar, que ocupam locais mais próximos das janelas, tendem a fechar os elementos internos de sombreamento. Quanto à abertura, as interações possuem outro motivo: são realizadas visando obter conforto, e não reduzir o desconforto. Assim, os usuários tendem a realizar as aberturas ao chegarem ao ambiente de trabalho, por isso, apesar de haver influência da distância que os usuários ficam

posicionados das janelas, ela é menos significativa em relação às interações visando o fechamento.

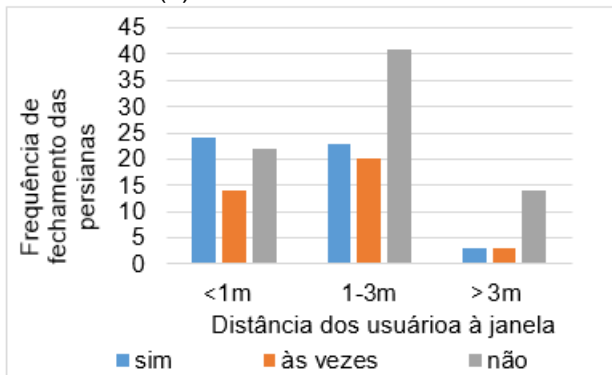
Os dados de posição dos ocupantes nas salas foram cruzados com os de abertura e fechamento dos elementos internos de sombreamento, a fim de entender se a distância das janelas influencia na interação dos usuários. A frequência de cada resposta obtida é apresentada na Figura 24. Na Figura 24(a) é apresentada a relação entre as distâncias dos usuários às janelas e a abertura dos elementos internos de sombreamento. A relação entre o fechamento e as distâncias dos usuários às janelas é apresentada na Figura 24(b). Percebe-se que “não interação” cresce com o aumento da distância entre os usuários e as janelas. O crescimento não é evidente em valores absolutos, dado que o maior número de usuários é encontrado entre um e três metros das janelas. Deste modo, as avaliações também devem levar em consideração as variações percentuais em cada agrupamento por distância. No Apêndice D são apresentadas as variações percentuais sobre as informações de interação dos usuários com os elementos internos de sombreamento de acordo com a distância entre suas estações de trabalho e as janelas.

Figura 24 – Relação entre a distância dos usuários à janela e as interações com os elementos internos de sombreamento.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

(b) Distâncias x fechamento.



A aplicação de questionários mostrou que, tanto menos os usuários interagem com os elementos internos de sombreamento quanto mais longe estão das janelas. Tanto para abertura quanto para fechamento dos elementos internos de sombreamento, observou-se redução nas interações dos usuários que ocupam estações de trabalho mais distantes das janelas, quando comparados aos que se posicionam com maior proximidade. Enquanto 35,0% dos usuários posicionados a até um metro das janelas declararam não abrirem os elementos internos de sombreamento, a mais de três metros das janelas o número de usuários que não abre é 55,0%. Avaliando-se o fechamento, tem-se que, 36,7% dos usuários que ocupam lugares a até um metro das janelas, 48,8% dos que estão entre um e três metros e 70,0% dos que estão a mais de três metros não fecham os elementos internos de sombreamento. Isto é, o número de pessoas que ocupam as posições mais distantes e não realizam interações com o meio fecham os elementos internos de sombreamento é quase o dobro quando comparado às que se posicionam mais próximo.

### 4.3 Padrões comportamentais observados em campo

Os dados levantados em campo mostram que o padrão mais usual de interação dos usuários com os elementos internos de sombreamento consiste na abertura dos mesmos no momento de chegada ao ambiente e fechamento em algum período do dia,

que varia, principalmente, com a orientação. Dados semelhantes podem ser encontrados na literatura. Reinhart (2001) expõe que os usuários tendem a abrir os elementos internos de sombreamento na chegada ao ambiente de trabalho e fechá-los conforme o movimento solar implica em incidência de radiação solar direta no plano de trabalho dos usuários.

Quanto à abertura dos elementos internos de sombreamento, percebeu-se que, independente da orientação avaliada, esta interação tende a ocorrer no momento em que os usuários chegam ao ambiente de trabalho. Dentre todos os usuários que responderam abrir os elementos internos de sombreamento, 63,3% o fazem no momento de chegada ao ambiente.

Percebeu-se que os momentos de fechamento variam, principalmente, com a orientação. Entretanto, em todas as orientações avaliadas, o principal motivo de fechamento relatado pelos usuários foi o excesso de radiação solar direta no plano de trabalho. Esta foi a opção de 77,0% dos usuários avaliados. Na Tabela 7 são apresentados os principais momentos de fechamento descritos pelos usuários de acordo com as orientações avaliadas.

Tabela 7 – Relação entre as orientações avaliadas e os principais momentos de fechamento das persianas obtidos.

<b>Orientação</b>	<b>Principal momento de fechamento</b>
Norte	à tarde, sem um horário específico
Sul	à tarde e na saída, mas foram registradas baixas frequências pela baixa interação dos usuários com elementos internos de sombreamento
Leste	de manhã, sem um horário específico
Oeste	à tarde, sem um horário específico

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Confrontando os momentos de fechamento descritos pelos usuários com os dados de radiação solar direta observados para a latitude de Florianópolis, percebe-se as seguintes relações:

- Norte: os usuários de ambientes com esta orientação, fachada que recebe radiação solar direta tanto de manhã quanto à tarde durante a maior parte do ano (exceção para alguns dias de verão, onde a radiação é mais concentrada próximo ao meio dia), declararam o principal momento de fechamento no período vespertino. Apesar de possuir incidência solar também no período matutino, o fechamento principal nos ambientes com orientação norte ocorre à tarde e, avaliando-se as respostas dos usuários, percebeu-se que, nesta orientação, os elementos internos de sombreamento são fechados com bastante frequência por causa da temperatura elevada percebida no ambiente. De todos os usuários que declararam este como o principal fator, 53,3% ocupam ambientes com orientação norte. Deste modo, concluiu-se que o acúmulo de radiação ao longo do dia implica na percepção de aumento de temperatura e consequente fechamento dos elementos internos de sombreamento no período vespertino.
- Sul: dos 42 usuários avaliados na orientação sul, apenas 8 declararam fechar os elementos internos de sombreamento, os outros 34 não os fecham durante o ano. Dentre os motivos de fechamento estão radiação solar no plano de trabalho, privacidade e ofuscamento. Analisando os dados de radiação da carta solar de Florianópolis, percebe-se que na maioria do ano a fachada sul não recebe radiação solar direta (exceção para alguns meses de verão). Confrontando os dados de radiação com as informações sobre a interação dos usuários com os elementos internos de sombreamento, percebe-se que, na orientação sul, também é válida a relação encontrada a respeito do fechamento dos elementos internos de sombreamento estar, principalmente, condicionado à elevada radiação solar no plano de trabalho. E, como na fachada sul não se percebe muita radiação solar, os fechamentos são quase inexistentes ao longo do ano.

- Leste: os usuários declararam que o fechamento dos elementos internos de sombreamento dos ambientes com esta orientação ocorre, principalmente, no período matutino, sem um horário específico. Os dados da carta solar indicam incidência de radiação direta na fachada leste no período matutino durante o ano inteiro. Considerando que a maioria das aberturas ocorre no período matutino, o fechamento ser realizado ainda no período matutino acarreta a manutenção dos elementos internos de sombreamento fechados durante grande parte do ano. Essas características podem condicionar os usuários a possuírem comportamentos passivos, mantendo as janelas obstruídas durante o ano inteiro. Na orientação leste foi percebido o segundo maior número de usuários que não interagem com os elementos internos de sombreamento.
- Oeste: nesta orientação, os usuários declararam o período vespertino, sem um horário específico, como o principal momento para o fechamento dos elementos internos de sombreamento. Este dado coincide com os momentos de incidência de radiação solar direta observados na carta solar de Florianópolis.

Confrontar os dados obtidos com a aplicação de questionários aos dados de radiação solar observados para a latitude de Florianópolis por orientação permitiu validar a hipótese de os usuários fecharem os elementos internos de sombreamento em algum momento do dia, que varia principalmente com a incidência excessiva de radiação solar no plano de trabalho. Nesta pesquisa, não foram realizadas medições para avaliar qual o limiar de interação dos usuários em termos numéricos. Isto é, qual o valor de radiação responsável pela tomada de atitude dos usuários visando a adequação dos ambientes. Deste modo, recorreu-se à literatura para obtenção desta informação.

Com a aplicação de questionários, percebeu-se a existência de usuários que não ajustam os elementos internos de sombreamento, considerados usuários passivos. Dos 164 usuários avaliados nesta pesquisa, 68 (38,4% do total) declararam não abri-los e 77 (46,9% do total) declararam não os fechar. As



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

orientações sul e leste são as que apresentam o menor número de usuários que interagem com os elementos internos de sombreamento. Entretanto, os motivos e o resultado desses comportamentos são distintos. Enquanto na orientação sul os usuários relataram pouca radiação solar incidente ao longo do ano e consequente manutenção dos elementos internos de sombreamento abertos, na orientação leste foi observada a maior porcentagem de usuários que mantêm os elementos internos de sombreamento fechados durante todo o ano.

Assim, considerando fatores que motivam e desmotivam as interações dos usuários com elementos internos de sombreamento, foram criados três perfis de comportamento de usuários que foram inseridos nas mensurações de consumo energético dos modelos avaliados por simulação computacional:

- Usuário 1: usuário passivo que mantém os elementos internos de sombreamento abertos durante o ano. Este perfil comportamental foi observado na orientação sul. Entretanto, julgou-se apropriado avaliar seu desempenho em todas as orientações, uma vez que representa o cenário máximo de aproveitamento de luz natural, pois as janelas não são obstruídas durante as simulações computacionais;
- Usuário 2: usuário ativo que interage com os elementos internos de sombreamento em dois momentos: na chegada, visando abertura; e durante o expediente, quando se sente desconfortável com o excesso de radiação solar no plano de trabalho, visando fechamento. Este perfil comportamental foi observado nas orientações norte, leste e oeste;
- Usuário 3: usuário passivo que mantém os elementos internos de sombreamento fechados durante o ano. Nos ambientes com orientação leste foram percebidas as maiores porcentagens de usuários que mantêm as janelas obstruídas. Optou-se pela criação deste padrão comportamental dado que ele resulta nos maiores bloqueios de radiação solar nos ambientes e,

consequentemente, nas menores cargas térmicas internas causadas por radiação solar.

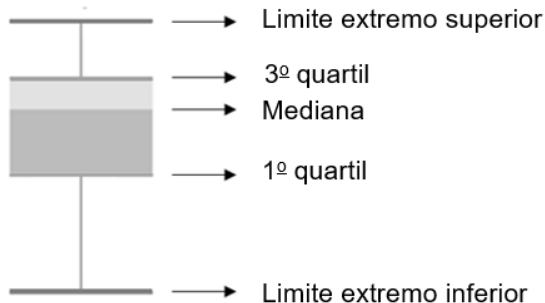
#### 4.4 Avaliação dos dados de consumo energético obtidos com simulação computacional

Neste tópico são apresentados os dados de consumo obtidos com as simulações computacionais. Eles foram agrupados de acordo com as características variadas na envoltória do modelo simulado. Isto é, os consumos com iluminação, resfriamento e total (considerando também aquecimento e equipamentos) foram avaliados em relação às orientações estudadas (norte, sul, leste e oeste); em relação às geometrias avaliadas (1:1, 1:2 e 2:1) e em relação aos percentuais de abertura da fachada (25%, 50% e 80%).

Nestas análises, foram construídos diagramas de caixa para representar as medidas de síntese dos dados avaliados. Em cada diagrama, são apresentadas as medidas descritas na Figura 25. As médias dos consumos, calculadas a partir dos agrupamentos por características variadas na envoltória, são apresentadas em tabelas, após os diagramas de caixa. Foram calculados os percentuais de variação nos consumos com resfriamento e consumo total a partir dos resultados obtidos para os usuários passivos que mantêm os elementos internos de sombreamento sempre abertos, que foram considerados como o caso base. Isto é, para os outros dois perfis de comportamento avaliados, foram calculadas as reduções ou acréscimos percentuais no consumo médio em relação ao caso base. As variações percentuais não foram calculadas para os consumos com iluminação, pois, em alguns casos, estes consumos para o caso base foram próximos de zero, o que torna pouco palpável a avaliação percentual.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 25 – Exemplo de diagrama de caixa utilizado na análise dos resultados com descrição das informações existentes.



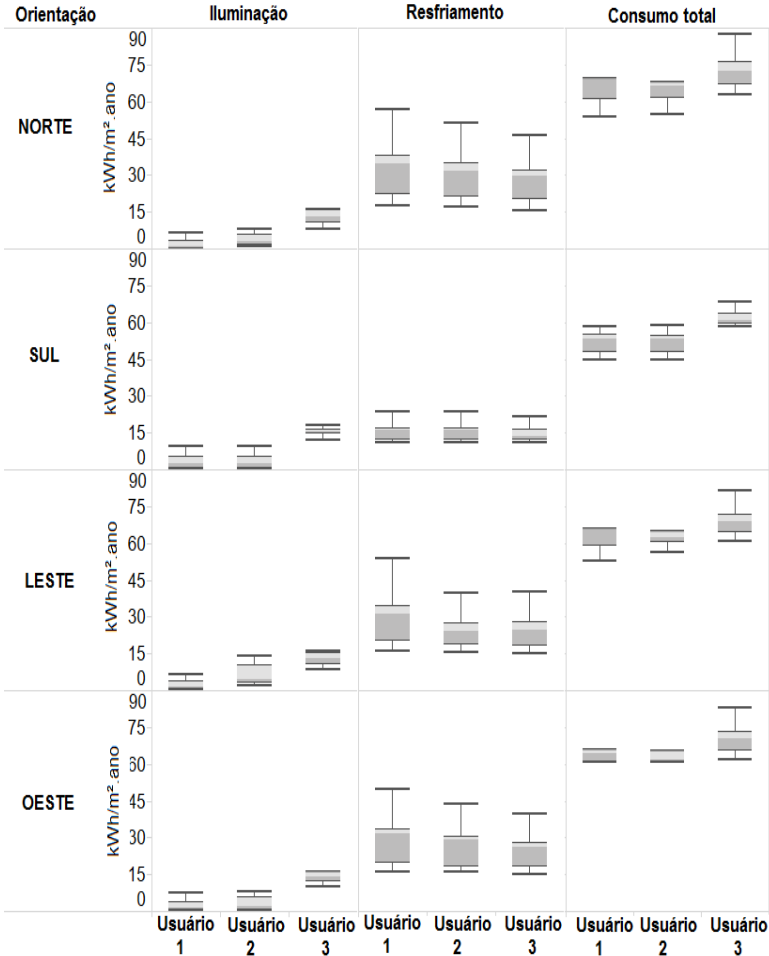
Inicialmente, os dados de consumo foram avaliados em relação às orientações. Na Figura 26 são apresentados os diagramas de caixa referentes aos consumos obtidos nas simulações para cada perfil de comportamento de usuário estudado nas quatro orientações. Estes consumos são referentes ao sistema de iluminação, ao resfriamento e ao consumo total, que inclui aquecimento e equipamentos. Optou-se por não mostrar os consumos de aquecimento e dos equipamentos isoladamente uma vez que, no caso do aquecimento, os valores obtidos para Florianópolis são baixos e não apresentam muita variação; uma lista com os consumos de aquecimento para todos os casos avaliados é apresentada no Apêndice E. Quanto aos equipamentos, os perfis de comportamento dos usuários estudados não incluem variação na potência dos equipamentos. Deste modo, todos os consumos observados para os equipamentos são constantes e valem 30,8 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Os perfis de comportamento avaliados foram divididos em três usuários, apresentados a seguir:

Usuário 1: usuário passivo que mantém os elementos internos de sombreamento abertos durante todo o ano de simulação;

Usuário 2: usuário ativo que tende a abrir os elementos internos de sombreamento no momento de chegada ao ambiente e fechá-los quando se sentir desconfortável com o excesso de radiação solar no plano de trabalho;

Usuário 3: usuário passivo que mantém os elementos internos de sombreamento fechados durante todo o ano de simulação.

Figura 26 – Relação entre a orientação dos ambientes simulados e os consumos com iluminação, resfriamento e total dos perfis de comportamento de usuário avaliados.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os consumos médios para os agrupamentos de perfil de comportamento por orientação avaliada são apresentados na Tabela 8. Para os consumos com resfriamento e total foram calculadas as variações percentuais em relação ao usuário 1, considerado o caso base para esta análise.

Tabela 8 – Consumos médios observados nas orientações avaliadas.

Orientação	Perfil de comportamento	Iluminação [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Resfriamento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]		Consumo total [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	
		Média	Média	Variação	Média	Variação
Norte	Usuário 1	3,0	34,5	BASE	68,4	BASE
	Usuário 2	4,2	31,7	-8,1%	66,8	-2,3%
	Usuário 3	13,1	29,3	-15,1%	73,3	7,1%
Sul	Usuário 1	4,1	16,0	BASE	51,3	BASE
	Usuário 2	4,2	16,0	-0,2%	51,3	0,1%
	Usuário 3	15,3	15,0	-6,1%	61,5	19,9%
Leste	Usuário 1	3,1	31,5	BASE	65,5	BASE
	Usuário 2	6,5	25,4	-19,4%	62,9	-4,0%
	Usuário 3	12,9	25,5	-19,2%	69,3	5,9%
Oeste	Usuário 1	3,2	30,5	BASE	64,8	BASE
	Usuário 2	3,8	27,8	-9,0%	62,6	-3,3%
	Usuário 3	13,9	25,7	-15,8%	70,7	9,1%

Avaliando-se os resultados obtidos com as simulações, têm-se as seguintes relações por orientação:

- Norte: as simulações para a orientação norte resultaram em maiores obstruções das janelas entre os meses de abril e setembro. Com isso, houve acréscimo no consumo de iluminação quando se compara o usuário 2 ao usuário 1. Em relação ao sistema de resfriamento, a maior redução observada foi referente ao usuário 3. Entretanto, ao se avaliar o consumo total da edificação, tem-se que o usuário 3 é o menos eficiente. Afinal, mesmo com as maiores reduções com resfriamento, o acréscimo no consumo com iluminação impactou negativamente o consumo total do edifício. Em relação ao usuário 1, o usuário 3 resultou em acréscimos médios de consumo maiores que 7,0%.
- Sul: os consumos com o sistema de iluminação artificial resultantes dos usuários 1 e 2 foram praticamente os mesmos. Como observado em campo, os elementos internos de sombreamento tendem a permanecer abertos durante todo o ano nesta orientação, mesmo considerando o comportamento do usuário 2. Deste modo, o aproveitamento de luz natural não é impactado com obstruções nas janelas. Entretanto, nesta orientação, o usuário 3 foi o que causou maior impacto no consumo energético de iluminação em relação aos usuários 1 e 2. Avaliando-se o consumo com o sistema de resfriamento, tem-se que os usuários 1 e 2 implicam em cargas térmicas internas semelhantes e, conseqüentemente, os consumos de resfriamento apresentaram pouca variação. No caso do resfriamento, o usuário 3 resulta em pouca economia energética dado que a orientação sul é a menos influenciada pela radiação direta para a latitude de Florianópolis, portanto manter os elementos internos de sombreamento fechados resulta em pouca redução de consumo com resfriamento. Avaliando-se os consumos totais, tem-se que o usuário 3 resulta nos maiores

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

acréscimos de consumos em relação ao usuário 1 dentre as orientações avaliadas. Este fato é devido ao acréscimo de consumo com iluminação artificial provocado pelo baixo aproveitamento de luz natural quando as janelas são mantidas obstruídas ao longo do ano, juntamente à baixa redução na carga térmica interna, pela orientação sul apresentar pouca incidência de radiação solar direta. Além da baixa redução na carga térmica com a obstrução das janelas, o aumento da potência de iluminação artificial também gera acréscimos na carga térmica de resfriamento.

- Leste: na orientação leste percebeu-se a maior influência do usuário 2 no consumo de iluminação artificial em relação às outras orientações avaliadas. Esse aumento no consumo é devido aos usuários ativos tenderem a fechar os elementos internos de sombreamento no período matutino e mantê-los fechados durante o resto do dia. Esta característica também foi encontrada nas avaliações realizadas em campo. Nesta orientação, percebeu-se que o usuário 2 resulta em maior redução de consumo com resfriamento quando comparado ao usuário 3. Nos ambientes com orientação leste, o usuário 2 é o que passa a maior parte do tempo com os elementos internos de sombreamento fechados. Deste modo, é a orientação na qual este perfil comportamental apresenta a maior redução no consumo com resfriamento em relação ao caso base. Avaliando-se o usuário 3, tem-se um consumo maior com iluminação em relação ao usuário 2 e, conseqüentemente, a carga térmica interna é aumentada. Deste modo, o balanço na redução de ganho de carga térmica do meio externo com o aumento da carga térmica interna resultou em maiores consumos com resfriamento para o usuário 3 do que para o usuário 2.
- Oeste: nesta orientação, o usuário 2 resultou nos menores consumos com iluminação artificial dentre as orientações analisadas. Conforme avaliado em campo, os usuários ativos que ocupam ambientes orientados a oeste tendem

a fechar os elementos internos de sombreamento no período vespertino, momento que coincide com a incidência de radiação solar direta nesta fachada. Deste modo, é possível aproveitar iluminação natural durante o período matutino e reduzir o consumo com iluminação artificial. Entretanto, quanto ao consumo com resfriamento, é possível perceber variação entre o usuário 2 nos ambientes com orientações leste e oeste. Enquanto na orientação oeste os elementos internos de sombreamento são fechados, principalmente, no período vespertino, para os ambientes orientados a leste isso ocorre no período matutino. Considerando que os níveis de radiação solar que incidem nessas duas fachadas são semelhantes, a variação no momento de fechamento implica em variações na carga térmica de resfriamento. Isto é, para os ambientes com orientação leste, percebeu-se maior redução no consumo com resfriamento causado pelo perfil de comportamento do usuário 2 quando comparado à orientação oeste. Entretanto, avaliando-se o usuário 3, tem-se pouca variação nas médias de consumo obtidas para os ambientes com orientações leste e oeste. Apesar de receberem níveis de radiação solar semelhantes, os ambientes com orientação leste e oeste apresentaram diferença no consumo com iluminação artificial; sendo que em ambientes com orientação leste foram percebidos menores consumos com iluminação artificial. Este fato é devido ao horário de operação da edificação avaliada (8h às 12h e 14h às 18h). Nos ambientes com orientação leste é percebida radiação solar direta das 8h às 12h (isto é, metade do expediente diário) durante todo o ano. Entretanto, na orientação oeste, a radiação solar direta só é percebida durante todo o expediente vespertino (12h às 18h) entre os meses de setembro e março. Assim, os ambientes com orientação oeste conseguem aproveitar menos luz natural e, conseqüentemente, consomem mais com iluminação artificial quando se avaliam os consumos resultantes de usuários passivos.

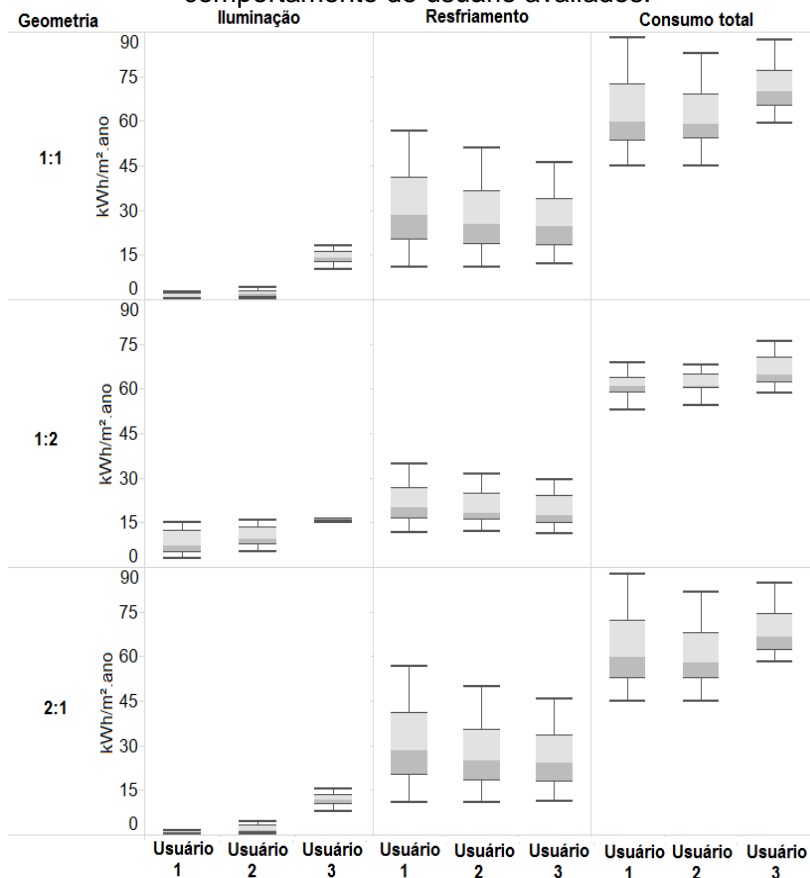


## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a Figura 26, pode-se concluir que os ajustes dos elementos internos de sombreamento estão fortemente ligados à incidência de radiação solar nos ambientes. Grandes variações são percebidas entre a orientação sul (que recebe pouca radiação solar) e as orientações leste e oeste (que recebem valores de radiação semelhantes, porém em momentos distintos durante o dia). Afinal, os ambientes com orientação sul, por receberem pouca radiação direta, implicam em poucas interações de fechamento dos elementos internos de sombreamento. Deste modo, percebe-se valores de aproveitamento de luz natural com pouca variação entre os usuários 1 e 2. Entretanto, grandes variações são percebidas nos ambientes com orientação leste e oeste. Pois na orientação leste os elementos internos de sombreamento tendem a ser fechados ainda no período matutino, acarretando maiores consumos com iluminação para o usuário 2. Ao contrário dos ambientes com orientação oeste, onde a radiação solar incide no período vespertino, e o usuário 2 tende a aproveitar luz natural no período matutino.

Os consumos dos modelos foram analisados de acordo com as geometrias avaliadas. Na Figura 27 são apresentados os diagramas de caixa construídos com os dados de consumo de iluminação, resfriamento e consumo total de acordo com as geometrias 1:1, 1:2 e 2:1. Em seguida, na Tabela 9, são apresentadas as médias de consumo e as reduções percentuais em relação ao caso base.

Figura 27 – Relação entre a geometria dos ambientes simulados e os consumos com iluminação, resfriamento e total dos perfis de comportamento de usuário avaliados.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tabela 9 - Consumos médios observados nas geometrias avaliadas.

Geometria	Perfil de comportamento	Iluminação [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Resfriamento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]		Consumo total [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	
		Média	Média	Variação	Média	Variação
1:1	Usuário 1	1,1	31,2	BASE	63,4	BASE
	Usuário 2	2,1	28,0	-10,4%	61,2	-3,5%
	Usuário 3	13,9	26,4	-15,3%	71,4	12,6%
1:2	Usuário 1	8,2	21,8	BASE	60,9	BASE
	Usuário 2	10,1	20,2	-7,4%	61,2	0,4%
	Usuário 3	15,9	19,2	-12,1%	66,0	8,3%
2:1	Usuário 1	0,7	31,4	BASE	63,2	BASE
	Usuário 2	1,8	27,5	-12,4%	60,4	-4,5%
	Usuário 3	11,7	26,0	-17,1%	68,7	8,8%

Avaliando-se os consumos resultantes dos diferentes padrões de comportamento dos usuários em relação às geometrias testadas nas simulações, foram obtidas as seguintes relações:

- Geometrias 1:1 e 2:1: avaliando-se o aproveitamento de luz natural, percebeu-se que os três perfis de comportamento resultaram em menores consumos de iluminação nos ambientes de geometria 2:1, devido à menor influência das paredes (que possuem refletância de 50%) nos ambientes. Nos ambientes 2:1 o índice de ambiente (K) é maior que nos ambientes 1:1. A redução

de consumo com iluminação artificial para os maiores valores de K em geometrias 1:1 e 2:1 também foi obtida na pesquisa de Rupp (2011). Entretanto, avaliando-se os consumos com resfriamento, percebeu-se que ambas as geometrias apresentaram consumos semelhantes. Estes consumos podem ser explicados quando se avalia a relação de área envidraçada por volume condicionado que, em ambas as geometrias, são iguais. Deste modo, as trocas térmicas com o meio externo de ambientes com geometria 1:1 foram semelhantes às dos ambientes 2:1, resultando em consumos semelhantes com resfriamento. Entretanto, avaliando-se os consumos totais, os ambientes com geometria 2:1 apresentaram resultados inferiores aos de geometria 1:1 devido ao maior aproveitamento de iluminação natural e consequente redução de potência necessária para a iluminação artificial.

- Geometria 1:2: neste caso, foram observadas variações nos consumos de iluminação em relação às outras duas geometrias avaliadas. Esta geometria, por ser a mais profunda, é a que apresenta menores valores de aproveitamento de luz natural e, conseqüentemente, maiores consumos com o sistema de iluminação artificial. Entretanto, os consumos com o sistema de resfriamento são os menores registrados, uma vez que esta é a geometria menos influenciada pelo meio externo. Assim, foi percebida a menor variação entre os consumos totais resultantes dos padrões de comportamento dos usuários 1 e 3. Dado que, por ser menos influenciada pelo meio externo, manter as janelas obstruídas resulta em menor impacto na redução da carga térmica.

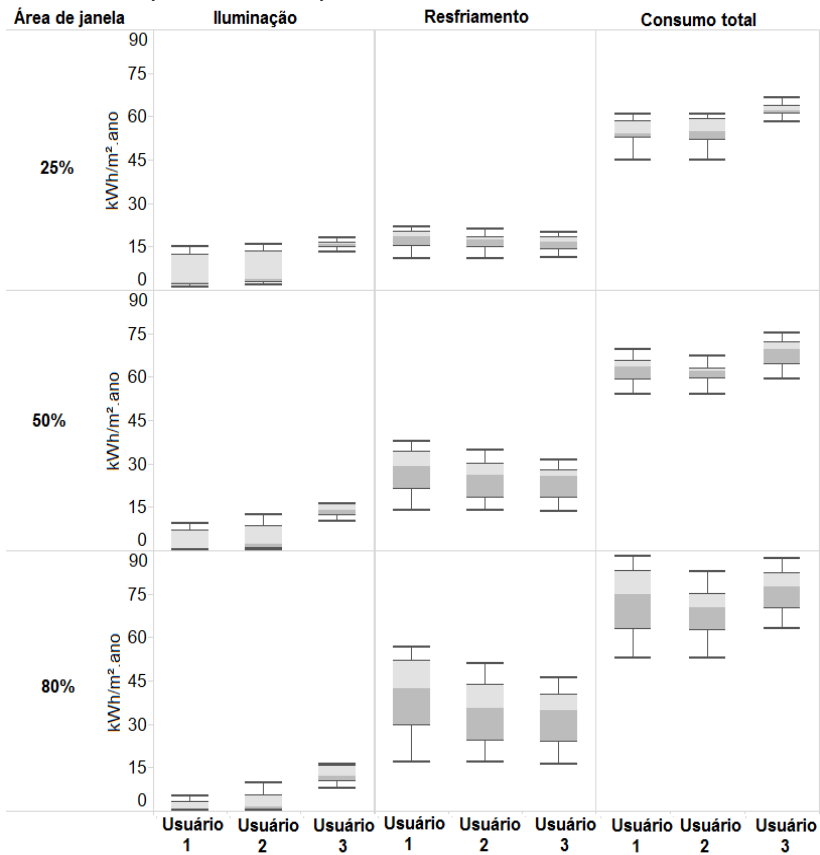
Com a Figura 27, percebeu-se que os ambientes mais influenciados pelo meio externo, isto é, aqueles com maior relação de área envidraçada para volume condicionado (geometrias 1:1 e 2:1) apresentam os maiores aproveitamentos de luz natural. Entretanto, estes aproveitamentos aumentam a carga térmica

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

interna e, conseqüentemente, foram percebidos os maiores consumos com resfriamento. No caso dos ambientes com geometria 1:2, os menores aproveitamentos de luz natural implicaram em menores consumos com resfriamento. Resultados semelhantes foram apresentados por Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005). Os autores expõem que, apesar de geralmente recomendadas na literatura pelo maior aproveitamento de luz natural, as edificações com menor profundidade (geometrias 1:1 e 2:1) não são as mais eficientes energeticamente. No caso de edificações condicionadas artificialmente e com integração da luz natural com a artificial, ambientes mais profundos (geometria 1:2) apresentam melhores níveis de eficiência energética.

A avaliação dos dados de consumo em relação às áreas de janela avaliadas nesta pesquisa é apresentada na Figura 28 e na Tabela 10. Inicialmente, são mostrados os diagramas de caixa construídos com os dados obtidos com as simulações e, posteriormente, são apresentados os consumos médios para os agrupamentos e os percentuais de variação em relação ao caso base.

Figura 28 – Relação entre a área de janela dos ambientes simulados e os consumos com iluminação, resfriamento e total dos perfis de comportamento de usuário avaliados.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tabela 10 – Consumos médios observados para as áreas de janela avaliadas.

Área de janela	Perfil de comportamento	Consumos em kWh/m <sup>2</sup> .ano				
		Iluminação	Resfriamento		Consumo total	
		Média	Média	Variação no consumo	Média	Variação no consumo
25%	Usuário 1	5,8	17,2	BASE	54,1	BASE
	Usuário 2	7,0	16,4	-4,8%	54,4	0,6%
	Usuário 3	15,4	15,9	-7,6%	62,4	15,4%
50%	Usuário 1	2,9	27,3	BASE	61,2	BASE
	Usuário 2	4,3	24,6	-9,8%	59,9	-2,1%
	Usuário 3	13,6	23,2	-15,1%	67,8	10,8%
80%	Usuário 1	1,4	39,9	BASE	72,3	BASE
	Usuário 2	2,8	34,6	-13,2%	68,4	-5,3%
	Usuário 3	12,4	32,5	-18,5%	76,0	5,1%

Foram obtidas as seguintes relações considerando os consumos dos diferentes padrões comportamentais em relação aos percentuais de abertura:

- 25%: esta é a menor área de janela avaliada nesta pesquisa. Deste modo, os modelos com essa característica apresentam as menores taxas de aproveitamento de luz natural e os consumos com iluminação artificial foram os maiores observados para os três padrões de comportamento avaliados. Entretanto, apesar dos menores aproveitamentos de luz natural, estes modelos são os menos influenciados

pelas trocas térmicas com o meio externo e, conseqüentemente, os que apresentaram os menores consumos com resfriamento. Considerando os menores ganhos de radiação resultantes das menores áreas envidraçadas, os usuários 2 e 3 apresentaram as menores reduções percentuais médias em relação aos maiores valores de abertura. Avaliando-se os consumos totais, o usuário 3 resultou no maior acréscimo de consumo em relação ao 1 pelo fato de, além da obstrução das janelas não apresentar grandes reduções nos consumos com resfriamento, elas implicam em acréscimo de consumo com iluminação. Deste modo, o balanço do consumo é superior aos resultantes dos demais perfis de comportamento;

- 50%: este caso possibilita maiores aproveitamentos de iluminação natural em relação aos modelos com 25% de abertura nas fachadas. Entretanto, foram mais suscetíveis aos ganhos térmicos pelas trocas com o exterior por possuírem maior área envidraçada. Avaliando-se os consumos com resfriamento, as reduções percentuais dos consumos dos usuários 2 e 3 em relação ao usuário 1 foram maiores que as observadas para 25% de abertura. Quando se considera o consumo total, tem-se que o usuário 3 apresenta menor acréscimo percentual em relação ao usuário 1 quando se compara com 25% de abertura.
- 80%: devido ao maior aproveitamento de luz natural, esta área de janela resultou nos menores consumos com iluminação artificial. Entretanto, por serem os modelos que mais sofrem influência do meio externo dentre os avaliados neste tópico, foram observados os maiores consumos com resfriamento e, conseqüentemente, os maiores consumos totais. Proporcionalmente, esta abertura resultou nos consumos médios com resfriamento resultantes dos usuários 2 e 3 mais semelhantes. Os consumos semelhantes podem ser explicados devido ao comportamento do usuário 2, apesar de menos impactante no consumo com resfriamento, resultar em maior aproveitamento de luz natural, e conseqüente menor carga térmica resultante do acionamento da iluminação artificial. No caso do usuário 3, apesar da manutenção dos elementos internos de sombreamento fechados durante o ano



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

reduzirem o ganho de carga térmica do meio externo, perceberam-se os maiores consumos com iluminação, o que acarreta acréscimo de carga térmica interna. O balanço de consumo, quando se considera os ganhos térmicos internos e externos, resultou em consumos semelhantes com resfriamento para os usuários 2 e 3.

Com a Figura 28, pode-se concluir que o aproveitamento de luz natural é proporcional à área de janela. Isto é, quanto menor a área de janela do modelo, menor o aproveitamento de luz natural e, conseqüentemente, maior o consumo com iluminação artificial. Entretanto, a relação é inversa quando se considera o consumo com resfriamento. Afinal, quanto menor a área de janela, menos influenciado pelo meio externo é o modelo e, conseqüentemente, menor é o consumo com resfriamento. Estas relações valem para os três perfis de comportamento avaliados. Quando se considera o consumo total, percebeu-se que áreas de janela de 50% apresentam resultados semelhantes aos modelos com 25% de área de janela. Afinal, os maiores consumos com resfriamento são compensados com a redução do consumo com iluminação natural. Entretanto, quando se considera área de janela de 80%, percebeu-se que, mesmo com as maiores reduções nos consumos com iluminação artificial, os elevados consumos com resfriamento tornam os consumos totais maiores que os obtidos para as duas áreas de janela inferiores.

A partir dos resultados das simulações computacionais, foram encontradas as variáveis da envoltória mais impactantes nos consumos energéticos dos modelos, tanto positiva quanto negativamente. Na Tabela 11 são apresentadas as variáveis relacionadas aos maiores e aos menores consumos para cada padrão de comportamento avaliado.

Tabela 11 – Síntese das características da envoltória mais impactantes nos consumos para os três perfis de comportamento avaliados.

Característica	Perfil de comportamento	Sistema avaliado	Orientação	Geometria	Abertura
Maiores Consumos	Usuário 1	Iluminação	Sul	1:2	25%
		Resfriamento	Norte	2:1	80%
		Total	Norte	1:1	80%
	Usuário 2	Iluminação	Leste	1:2	25%
		Resfriamento	Norte	1:1	80%
		Total	Norte	1:1 e 1:2	80%
	Usuário 3	Iluminação	Sul	1:2	25%
		Resfriamento	Norte	1:1	80%
		Total	Norte	1:1	80%
Menores Consumos	Usuário 1	Iluminação	Norte	2:1	80%
		Resfriamento	Sul	1:2	25%
		Total	Sul	1:2	25%
	Usuário 2	Iluminação	Oeste	2:1	80%
		Resfriamento	Sul	1:2	25%
		Total	Sul	2:1	25%
	Usuário 3	Iluminação	Leste	2:1	80%
		Resfriamento	Sul	1:2	25%
		Total	Sul	1:2	25%

## **5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas com a realização desta pesquisa. Além disso, são apresentadas as considerações finais, que tratam das limitações da pesquisa e são apresentadas sugestões para estudos futuros.

### **5.1 Conclusões**

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência da interação dos usuários com elementos internos de sombreamento na eficiência energética de edificações comerciais situadas em Florianópolis-SC. Para alcançar o objetivo, foram aplicados questionários a usuários de uma edificação de escritório em Florianópolis, que serviram como base para a criação de padrões de comportamento. Estes padrões de comportamento foram utilizados em simulações computacionais a fim de determinar as variações no consumo energético de edificações causadas por diferentes usuários.

#### **5.1.1 Criação de padrões de comportamento dos usuários**

Inicialmente, com a aplicação de questionários a 164 usuários de uma edificação de escritório em Florianópolis, foi possível conhecer o comportamento dos usuários no que se refere às interações com os elementos internos de sombreamento. Percebeu-se que as interações ocorrem, na maioria dos casos, em dois momentos do dia: primeiramente quando os usuários chegam ao ambiente, e abrem os elementos internos de sombreamento; posteriormente, em algum período do dia, quando os usuários se sentirem desconfortáveis com o ambiente. Embora tenha sido relatado desconforto por temperatura e por iluminação causando interação com os elementos internos de sombreamento, a maioria dos usuários interage por desconforto com o ambiente visual. O principal motivo é o excesso de radiação solar no plano de trabalho. Deste modo, concluiu-se que os momentos de fechamento estão relacionados às orientações dos ambientes.

Encontrou-se relação entre os momentos de fechamento dos elementos internos de sombreamento e a incidência de radiação solar direta nas fachadas dos ambientes. A radiação solar foi avaliada pela carta solar de Florianópolis e os momentos de fechamento relatados para as diferentes orientações avaliadas coincidiram com os momentos de incidência de radiação solar nas fachadas. Deste modo, os dados obtidos com a aplicação de questionários, que indicavam interações de fechamento pelo excesso de radiação solar no plano de trabalho, foram confirmados.

Percebeu-se que tanto mais os usuários interagem com os elementos internos de sombreamento quanto mais próximos deles estão posicionadas suas estações de trabalho. Esta relação é ainda mais válida quando se avalia o fechamento dos elementos internos de sombreamento.

Os comportamentos mais passivos em relação às interações com os elementos internos de sombreamento foram avaliados nas orientações sul e leste. Este fato é devido à variação na incidência de radiação solar direta nessas fachadas. Enquanto nos ambientes com orientação sul foi observado padrão de comportamento passivo, no qual os usuários mantêm os elementos internos de sombreamento abertos durante o dia inteiro, nos ambientes com orientação leste foi observada maior permanência de elementos internos de sombreamento fechados durante o dia inteiro. Dentre as orientações com o maior número de usuários ativos (norte, leste e oeste), em leste foram observadas as maiores porcentagens de usuários passivos. Mesmo considerando-se os usuários com comportamentos ativos, percebeu-se que ambientes com orientação leste tendem a permanecer grande parte do dia com as aberturas obstruídas. Afinal, a fachada leste recebe radiação solar direta ainda no período matutino, o que aumenta a chance de fechamento dos elementos internos de sombreamento, que tendem a permanecer assim durante todo o dia.

Deste modo, foram observados três padrões de comportamento de usuários em relação às interações com os elementos internos de sombreamento: dois passivos e um ativo. O primeiro dos comportamentos passivos corresponde aos usuários que pouco interagem com os elementos internos de

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

sombreamento, mas os mantêm abertos durante o ano. O segundo dos comportamentos passivos corresponde aos usuários que pouco interagem com os elementos internos de sombreamento, entretanto, os mantêm fechados durante o ano. O comportamento ativo corresponde aos usuários que abrem os elementos internos de sombreamento no momento de chegada ao ambiente de trabalho e os fecham em algum período do dia, quando se sentem desconfortáveis com o excesso de radiação solar direta no plano de trabalho. Nesta pesquisa, não foram realizadas medições de níveis de radiação solar nos ambientes avaliados. Deste modo, recorreu-se à literatura para determinar o valor de radiação solar tido como limiar de interação para o fechamento dos elementos internos de sombreamento. Com a revisão de literatura, foi determinado que  $50 \text{ W/m}^2$  de radiação solar no plano de trabalho pode ser considerado como limiar de interação com os elementos internos de sombreamento.

### 5.1.2 Análise quantitativa da influência do comportamento dos usuários no consumo energético de edificações comerciais

Como tendência geral, perceberam-se as seguintes implicações resultantes dos perfis de comportamento avaliados:

- Usuário passivo que mantém os elementos internos de sombreamento sempre abertos: maiores aproveitamentos de iluminação natural e, conseqüentemente, menores consumos com iluminação artificial pelas janelas passarem o ano inteiro desobstruídas, permitindo a penetração de luz natural nos ambientes. Nesta pesquisa, considerou-se integração de luz natural à artificial, assim, maiores penetrações de luz natural implicam em menores consumos com luz artificial;
- Usuário ativo que ajusta os elementos internos de sombreamento de acordo com a percepção de radiação incidente no plano de trabalho: valores médios de aproveitamento de iluminação natural e reduções nas cargas térmicas de resfriamento. Estes resultados são

devidos às obstruções das janelas ao longo do dia. Enquanto o usuário que mantém os elementos internos de sombreamento sempre abertos aproveita o máximo de luz natural possível, e o usuário que mantém os elementos internos de sombreamento sempre fechados resulta nas maiores reduções de carga térmica interna, os ajustes ao longo do ano (usuário ativo) resultam nos valores médios tanto para aproveitamento de luz natural quanto para resfriamento;

- Usuário passivo que mantém os elementos internos de sombreamento sempre fechados: apesar das maiores reduções nas cargas térmicas de resfriamento por meio da obstrução das janelas, percebeu-se que os acréscimos nos consumos com iluminação artificial não compensaram a redução da carga térmica. Assim, os consumos totais foram superiores aos dos usuários passivos, tanto os que mantêm os elementos internos de sombreamento sempre abertos quanto os que os mantêm sempre fechados.

Avaliando-se a influência das variáveis analisadas na envoltória dos modelos simulados em relação aos padrões de comportamento, concluiu-se:

Em relação às orientações, percebeu-se variação entre os usuários passivos e o usuário ativo. Como tendência geral, tem-se que os maiores consumos com resfriamento e totais foram obtidos para a orientação norte, em todos os perfis de comportamento avaliados. Enquanto os menores consumos com resfriamento e totais foram observados nos ambientes com orientação sul, também em todos os perfis de comportamento avaliados. Estas são as fachadas com maior e menor, respectivamente, radiação incidente observada na latitude de Florianópolis. Quando se avalia o sistema de iluminação, os maiores e menores consumos estão condicionados aos comportamentos dos usuários. Entretanto, como tendência geral, tem-se que, para os usuários passivos, as orientações com maiores valores de radiação incidente resultam em menores consumos com iluminação artificial, enquanto as com menores

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

valores de radiação resultam em maiores consumos com esse sistema. Quando se avalia o usuário ativo, a orientação do modelo configura variação no consumo com iluminação de acordo com dois critérios: níveis de radiação solar incidente e momentos de incidência ao longo do dia. Para baixos níveis de radiação, como na orientação sul, o usuário ativo apresentou pouca variação no consumo com iluminação em relação ao usuário passivo que mantém os elementos internos de sombreamento sempre abertos. Entretanto, avaliando-se as orientações leste e oeste, percebeu-se que o usuário ativo resulta em maiores consumos com iluminação artificial nos ambientes com orientação leste. Afinal, as interações visando fechamento dos elementos internos de sombreamento tendem a ocorrer no período matutino, resultando em baixos aproveitamentos de luz natural ao longo do dia. Na orientação oeste, onde a incidência solar ocorre no período vespertino, o usuário ativo resulta em aproveitamento de luz natural no período matutino, resultando em menores consumos com iluminação artificial.

Quanto às geometrias avaliadas, percebeu-se que os ambientes de geometria 2:1 apresentam maiores valores de aproveitamento de luz natural e conseqüente redução nos consumos com iluminação artificial. Entretanto, estes ambientes são mais suscetíveis às trocas térmicas com o exterior e resultam em maiores consumos com resfriamento quando comparados com os ambientes 1:2. Apesar disso, cada perfil de comportamento está condicionado a melhores ou piores desempenhos energéticos de acordo com as características da envoltória. Para os usuários passivos foram percebidos os menores consumos totais nas geometrias 1:2. Entretanto, o comportamento do usuário ativo resulta em menores consumos totais nos ambientes com geometria 2:1, tendo em vista a redução da carga térmica aliada ao aproveitamento de luz natural. Quanto aos maiores consumos, percebeu-se que a geometria 1:2 é onde foram obtidos os piores desempenhos com o sistema de iluminação. Entretanto, os maiores consumos totais foram observados nos ambientes de geometria 1:1 que, apesar de estarem tão suscetíveis quanto os ambientes de geometria 2:1 para as trocas com o exterior, apresentam menores aproveitamentos de luz natural e, conseqüentemente, maiores consumos totais.

Percebeu-se que, quanto maior for a área de janela, maior é a redução percentual dos consumos totais do usuário passivo que mantém os elementos internos de sombreamento sempre fechados em relação ao usuário que os mantém sempre abertos. Entretanto, avaliando-se os valores de consumo, tem-se que tanto maiores são quanto maiores forem as aberturas das fachadas. Afinal, quanto mais envidraçada a fachada, mais suscetível ao aquecimento por cargas externas o ambiente está. Entretanto, quando se avalia proporcionalmente cada caso, tem-se que maiores aberturas permitem maiores aproveitamentos de luz natural e, por serem mais influenciados pelo meio, mais eficazes na redução do consumo com resfriamento são os comportamentos dos usuários ativo e passivo que mantém os elementos internos de sombreamento sempre fechados.

De maneira geral, concluiu-se que os usuários passivos que mantêm os elementos internos de sombreamento sempre abertos resultam nos maiores aproveitamentos de luz natural, devido à manutenção das janelas desobstruídas ao longo do ano. Entretanto, por permitir maior penetração de radiação solar, o consumo com resfriamento tende a ser maior em relação aos outros dois usuários avaliados. Os usuários ativos, que ajustam os elementos internos de sombreamento quando se sentem desconfortáveis, tendem a apresentar consumos intermediários em relação aos dois perfis de comportamento passivo, tanto para iluminação quanto para resfriamento. Afinal, estes usuários mantêm as janelas menos obstruídas que os usuários que mantêm os elementos internos de sombreamento sempre fechados; e mais obstruídas que os usuários que mantêm os elementos internos de sombreamento sempre abertos. Os usuários passivos que mantêm os elementos internos de sombreamento sempre fechados resultam nos menores aproveitamentos de iluminação natural, mas maiores reduções na carga térmica interna, por manterem as janelas obstruídas durante o ano e permitirem menores penetrações de luz natural nos ambientes. Entretanto, o elevado consumo com iluminação artificial faz com que o consumo total seja superior aos dos outros usuários avaliados. Desta forma, como tendência geral, percebeu-se que o usuário ativo resulta nos menores consumos totais das edificações em comparação aos dois perfis de usuário passivo



## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

avaliados, dado o balanço dos consumos de cada sistema. Assim, concluiu-se que as interações dos usuários com os elementos internos de sombreamento são importantes para tornar as edificações mais eficientes energeticamente, uma vez que podem balancear o aproveitamento de luz natural e a redução da carga térmica interna.

### 5.2 Considerações finais

#### 5.2.1 Limitações da pesquisa

Esta pesquisa apresenta as seguintes limitações:

- 1) Não considera a influência de edificações existentes no entorno na avaliação da iluminação natural no ambiente e, conseqüentemente, dos ajustes dos elementos internos de sombreamento;
- 2) O fechamento dos elementos internos de sombreamento foram avaliados considerando o excesso de radiação solar no plano de trabalho, uma vez que era necessário escolher uma variável para possibilitar o estudo quantitativo. Entretanto, as interações dos usuários com o meio podem ser causadas por diversos fatores;
- 3) Não considera avaliação de conforto térmico e visual nas análises de aproveitamento de iluminação natural nos ambientes;
- 4) O algoritmo utilizado (*Lightswitch*) não foi criado com base em medições realizadas na realidade climática brasileira, entretanto, foi necessário empregar um algoritmo que representasse o comportamento dos usuários, uma vez que fixar *setpoints* resultaria em consumos de sistemas automatizados, e não de sistemas ajustados por usuários;
- 5) Não foram consideradas variações de diversos parâmetros como clima, materiais e propriedades termofísicas da envoltória, tipo de proteção interna; além de considerar somente três variações de geometrias e áreas de janela;

- 6) Não considera dados reais, obtidos por meio de medição, de consumo energético de edificações reais de Florianópolis;
- 7) A avaliação dos consumos considerou a eficiência energética do sistema de condicionamento de ar fixa. Esta aproximação pode variar os dados de consumo, uma vez que a eficiência energética dos aparelhos é variável de acordo com o funcionamento do compressor e do ventilador.

### **5.2.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Com a intenção de complementar os resultados obtidos com esta pesquisa, sugere-se alguns estudos para serem realizados futuramente:

- Realizar levantamentos de comportamento dos usuários com medições nos ambientes a fim de chegar a valores de radiação solar no plano de trabalho adequados à realidade brasileira;
- Simular edificações sujeitas à influência do entorno;
- Avaliar a influência de diferentes tipos de controle de insolação solar, como persianas metálicas ou vidros dinâmicos;
- Analisar a influência do comportamento dos usuários em cidades com diferentes climas e latitudes;
- Realizar a mesma análise, porém considerando variações nas características da envoltória, a fim de encontrar tipologias de edificações que minimizem a influência do usuário.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: Instalações de ar condicionado – sistemas centrais e unitários, parte 1: projeto das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ACOSTA, I.; MUNOZ, C.; CAMPANO, M. A.; NAVARRO, J. Analysis of daylight factors and energy savings allowed by windows under overcast sky conditions. **Renewable Energy**. v. 77, p. 194-207, 2015.
- ALLOUHI, A.; EL FOUIH, Y.; KOUSKSOU, T.; JAMIL, A.; ZERAOU, Y.; MOURAD, Y. Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. **Journal of Cleaner Production**. p. 1-13, 2015.
- BONTE, M.; THELLIER, F.; LARTIGUE, B. Impact of occupant's actions on energy building performance and thermal sensation. **Energy and Buildings**. v. 76, p. 219-227, 2014.
- BOYANO, A.; HERNANDEZ, P.; WOLF, O. Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations. **Energy and Buildings**. v. 65, p. 19-28, 2013.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2014**: ano-base 2013. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2014.
- CRAWLEY, D. B.; LAWRIE, L. K.; WINKELMANN, F. C.; BUHL, W.F.; Y. JOE HUANG, Y. H.; CURTIS O. PEDERSEN, C. O.; STRAND, R. K.; LIESEN, R. J.; DANIEL E. FISHER, D. E.; MICHAEL J. WITTE, M. J.; GLAZER, J. EnergyPlus: Creating a

new-generation building energy simulation program. **Energy and Buildings**, v.33, n.4. p. 319-331, 2001.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. O potencial de economia de energia elétrica para a iluminação artificial. **Revista Tecnológica**, Edição Especial ENTECA p. 24-34, 2009.

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

DOE. DEPARTMENT OF ENERGY. **Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output**. Lawrence Berkeley National Laboratory: 2013.

DOE. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus**. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: out. 2016.

EBC. ENERGY IN BUYILDINGS AND COMMUNITIES PROGRAMME. **Annex 66 Text - Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings**. 2014. Disponível em: <[http://www.annex66.org/sites/default/files/pictures/EBC%20Annex%2066%20Text\\_0.pdf](http://www.annex66.org/sites/default/files/pictures/EBC%20Annex%2066%20Text_0.pdf)>. Acesso em: jun. 2016.

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

FONSECA, R. W. **Iluminação natural e consumo energético de edificações não residenciais: aplicação de redes neurais artificiais**. 2015. 466 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FOSTER, M.; ORESZCZYN, T. Occupant control of passive systems: the use of venetian blinds. **Building and Environment**. v. 36, p. 149-155, 2001.

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

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

GUNAY, H. B.; O'BRIEN, W.; BEAUSOLEIL-MORRISON, I.; HUCHUK, B. On adaptative occupant-learning window blind and lighting controls. **Building Research & Information**. v. 42, p. 739-756, 2014.

HALDI, F.; ROBINSON, D. Adaptative actions on shading devices in response to local visual stimuli. **Journal of Building Performance Simulation**. v. 3, p. 135-153, 2010.

HOES, P.; HENSEN, J. L. M.; LOOMANS, M. G. L. C.; VRIES, B.; BOURGEOIS, D. User behavior in whole building simulation. **Energy and Buildings**. v. 41, p. 295-302, 2009.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. 2016 **Tabelas de consumo/eficiência energética**. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores\\_ar\\_split\\_hiwall\\_indicenovo.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indicenovo.pdf)>. Acesso em: jun. 2016.

JANDA, K. B. Buildings Don't Use Energy: People Do. 26<sup>th</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture. **Proceedings...** Quebec City, 2009.

KIRIMTAT, A.; KOYUNBABA, B. K.; CHATZIKONSTANTINOU, I. Review of simulation modeling for shading devices in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 53, p. 23-49, 2016.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. **Analysis SOL-AR**. Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>>. Acesso em: jun. 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. PW Editores: São Paulo, 1997.

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

LOPES, A. C. S. **Avaliação de duas propostas de sistema de iluminação artificial suplementar ao sistema de iluminação natural existente em sala de aula padrão**. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MCNEEL, R; ASSOCIATES. **Rhinoceros 3D version 5.0**. 2016. Disponível em: <<https://www.rhino3d.com/>>. Acesso em mar. 2016.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n.4, p. 47-68, 2005.

MOEZZI, M.; JANDA, K. B. From “if only” to “social potential” in schemes to reduce building energy use. **Energy Research & Social Science**. v. 1, p. 30-40, 2014.

O'BRIEN, W. Occupant-proof building: can we design buildings that are robust against occupant behavior? 13<sup>th</sup> Conference of International Building Performance Simulation Association. **Proceedings...** Chambéry, 2013.

PACHECO, M. T. G. **Ventilação natural e climatização artificial: crítica ao modelo superisolado para residência de**

**energia zero em Belém e Curitiba.** 2013. 274 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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

RAMOS, G.; GHISI, E. Analysis of daylight calculated using the EnergyPlus programme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** v. 14, p. 1948-1958, 2010.

REINHART, C. F. **Daysim: Advanced Daylight Simulation Software.** Disponível em: <<http://daysim.ning.com/>>. Acesso em: out. 2016.

REINHART, C.F. **Daylight availability and Manual Lighting Control in Office Buildings – Simulation Studies and Analysis of Measurement.** 2001. 129 f. Dissertation towards the Attainment of the academic degree of Doctor of Engineering (Dr.-Ing.) – Faculty of Architecture at the University of Karlsruhe, Germany.

REINHART, C. F. Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. **Solar Energy.** v. 77, p. 15-28, 2004.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design.** Cambridge: Graduate School of Design – Harvard University, 2010.

REINHART, C. F.; NIEMASZ, J. **DIVA FOR RHINO – Environmental Analysis for Buildings.** Disponível em: <<http://diva4rhino.com/user-guide>>. Acesso em mar. 2016.

ROCHA, A. P. A.; PEREIRA, F. O. R. Avaliação do consumo de energia de edificações considerando a luz natural e sistemas de controle através de simulação computacional integrada. XI

Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído.  
**Proceedings...** Búzios, 2011.

RUPP, R. F. **Dimensionamento de área de janela em edificações comerciais: integração da iluminação natural com a artificial e utilização de ventilação híbrida.** 2011. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC.** 2006. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SCHELLER, C; SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações.** Disponível em: <[http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio\\_AnaliseArquivosClimaticos\\_CB3E.pdf](http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_AnaliseArquivosClimaticos_CB3E.pdf)>. Acesso em: mai. 2016.

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

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica.** 2003. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

US DEPARTMENT OF ENERGY – US DOE. **Energy simulation Software – Weather Data.** Disponível em: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata\\_about.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm)>. Acesso em: abr. 2016.

VERSAGE, R. S. **Metamodelo para estimar a carga térmica de edificações condicionadas artificialmente.** 2015. 191 f. Tese



(Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VERSAGE, R.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Impact of different daylighting simulation on the prediction of total energy consumption. Fourth National Conference of IBPSA-USA. **Proceedings...** New York City, 2010.

WYMELENBERG, V. D. K. Patterns of occupant interaction with window blinds: a literature review. **Energy and Buildings**. v. 51, p. 165-176, 2012.

ZHANG, Y.; BARRETT, P. Factors influencing occupant's blind-control behaviour in a naturally ventilated office building. **Building and Environment**. v. 54, p. 137-147, 2012.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS USUÁRIOS



1) Considerando o número 1 da imagem como a frente do edifício (R. Emílio Blum), as janelas da sua sala estão localizadas na fachada correspondente a qual número?

- 1  
 2  
 3  
 4

2) Qual sua posição na sala?

- A no máximo 1 metro da janela  
 Entre 1 e 3 metros da janela  
 A mais de 3 metros da janela

3) Em relação ao lugar que você ocupa na sala, a janela fica:

- Na sua frente       Nas suas costas       No seu lado

4) Você tem preferência em sentar próximo à janela?

- Sim       Não       Indiferente

5) No seu ambiente de trabalho, as persianas são ajustadas (abertas e/ou fechadas):

- Diariamente  
 Semanalmente  
 Mensalmente  
 Nunca

6) No seu ambiente de trabalho as persianas passam a maior parte do tempo:

- Parcialmente abertas       Abertas       Fechadas

7) Você abre as persianas do seu ambiente de trabalho? (OBS: caso a resposta seja positiva, responda as questões 8 e 9).

Sim                       Às vezes                       Não

8) Em que momento você abre as persianas?

- Ao chegar
- Durante o expediente, pela manhã
- Durante o expediente, pela tarde
- Depois do almoço
- Na saída

9) O que mais te motiva a abrir as persianas?

- Aproveitamento da luz natural (economia energética)
- Apreço pela vista para fora
- Sensação de conforto proporcionada pela luz natural
- Outro:

10) Você fecha as persianas do ambiente de trabalho? (OBS: caso a resposta seja positiva, responda as questões 11 e 12).

Sim                       Às vezes                       Não

11) Em que momento você fecha as persianas?

- Ao chegar
- Durante o expediente, sem um horário específico, pela manhã
- Durante o expediente, sem um horário específico, pela tarde
- Depois do almoço
- Na saída

12) O que mais te motiva a fechar as persianas?

- Luz solar direta no seu plano de trabalho
- Temperatura elevada
- Busca por privacidade no ambiente de trabalho
- Outro:

13) Você evita ajustar as persianas por receio de desagradar um colega de sala?

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Com frequência
- Sempre

14) Você evita ajustar as persianas pela dificuldade de integração ocasionada por problemas como mau funcionamento ou partes quebradas?

- Nunca
- Raramente
- Às vezes
- Com frequência
- Sempre

15) Você ajusta as persianas quando se sente desconfortável quanto à iluminação ou quanto à temperatura do ambiente?

- Iluminação
- Temperatura
- Ambos
- Não opero

16) Você percebe variação nos ajustes das persianas durante o inverno?

- Sim, elas passam mais tempo abertas
- Sim, elas passam mais tempo fechadas
- Não percebe

## APÊNDICE B - DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PELO MÉTODO DOS LÚMENS

Tabela B.1 – Parâmetros considerados no dimensionamento do sistema de iluminação artificial pelo método dos lúmens.

Classe	Parâmetro	Símbolo	Valor
Características do ambiente	Comprimento (m)	C	Variável
	Largura (m)	L	Variável
	Área (m <sup>2</sup> )	A = C.L	Variável
	Pé direito (m)	H	3,00
	Altura do plano de trabalho	$h_{pt}$	0,75
	Pé direito útil	$H_m = H - h_{pt}$	2,25
	Índice do ambiente	$K = (C.L) / (C+L).H_m$	Variável
	Fator de depreciação	Fd	0,90
Iluminação	Iluminância méd. (lux)	$E_m$	500
	Temperatura de cor	K	3000
	Índice de rep. de cor	IRC	0
Lâmpadas e luminárias	Tipo de lâmpada	-	Smartlux T5 HE 28W
	Potência da lâmpada	$P_{lâmp}$	28
	Fluxo luminoso	$\phi$	2900
	Lâmpadas/luminária	Z	2
	Tipo de luminária	-	GMST – T5 GUARILUX
	Fator de utilização	Fu	Variável
	Quantidade de lâmpadas	$n = (E_m.A) / (\phi.F_u.F_d)$	Variável
	Quant. de lâmpadas	n	Variável
	Quant. de luminárias	$N = n/Z$	Variável
Carac. da lâmpada	Iluminância méd. alcançada	$E = (n.\phi.F_u.F_d) / A$	Variável
	Potência instalada	$P_t = P_{lâmp}.n$	Variável
	Densidade de potência	$DPI = P_t/A$	Variável

Fonte: Adaptado de Rupp (2011).

## APÊNDICE C – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS APLICADOS AOS USUÁRIOS

Figura C.1 – Pavimento das salas dos entrevistados.

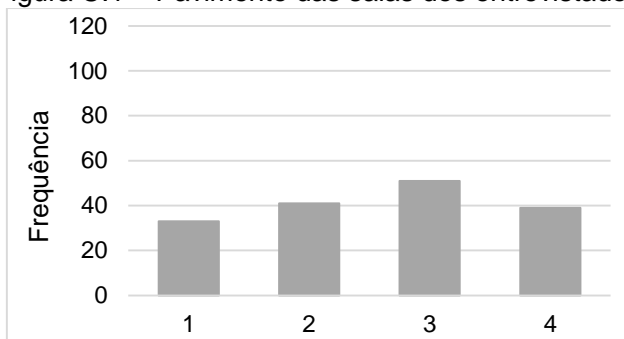


Figura C.2 – Distância entre os usuários e a janela da sala.

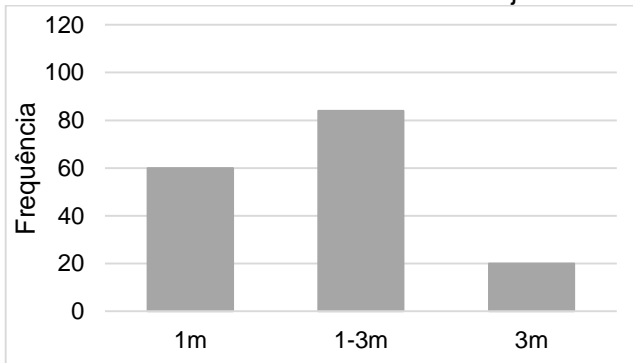
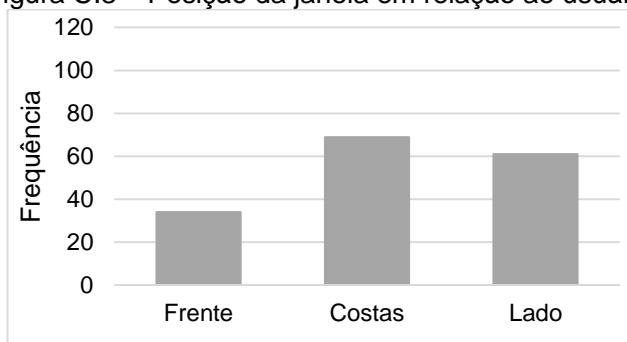


Figura C.3 – Posição da janela em relação ao usuário.







## APÊNDICE D – CRUZAMENTOS ENTRE AS INFORMAÇÕES DOS QUESTIONÁRIOS

Tabela D.1 – Relação entre a orientação dos ambientes e a abertura das persianas.

Orientação		Abertura das persianas			Total
		Sim	Às vezes	Não	
Norte	Frequência	19	14	7	40
	% por orientação	47,5%	35,0%	17,5%	100,0%
	% por abertura das persianas	30,6%	35,9%	11,1%	-
	% do total geral	11,6%	8,5%	4,3%	24,4%
Sul	Frequência	10	1	31	42
	% por orientação	23,8%	2,4%	73,8%	100,0%
	% por abertura das persianas	16,1%	2,6%	49,2%	-
	% do total geral	6,1%	0,6%	18,9%	25,6%
Leste	Frequência	12	14	13	39
	% por orientação	30,8%	35,9%	33,3%	100,0%
	% por abertura das persianas	19,4%	35,9%	20,6%	-
	% do total geral	7,3%	8,5%	7,9%	23,8%
Oeste	Frequência	21	10	12	43
	% por orientação	48,8%	23,3%	27,9%	100,0%
	% por abertura das persianas	33,9%	25,6%	19,0%	-
	% do total geral	12,8%	6,1%	7,3%	26,2%
Total	Frequência	62	39	63	164
	% por abertura das persianas	100,0%	100,0%	100,0%	-

Tabela D.2 – Relação entre a orientação dos ambientes e o momento de abertura das persianas.

Orientação		Momento da abertura					Total
		Ao chegar	Pela manhã	Depois almoço	A tarde	Na saída	
<b>Norte</b>	Frequência	25	5	-	2	1	33
	% por orientação	75,8%	15,1%	-	6,1%	3,0%	100,0%
	% por momento de abertura	39,1%	29,4%	-	10,5%	100,0%	-
	% do total geral	24,8%	4,9%	-	1,9%	0,9%	32,7%
<b>Sul</b>	Frequência	7	2	-	2	-	11
	% por orientação	63,6%	18,2%	-	18,2%	-	100,0%
	% por momento de abertura	10,9%	11,8%	-	10,5%	-	-
	% do total geral	6,9%	1,9%	-	1,9%	-	10,9%
<b>Leste</b>	Frequência	11	4	-	11	-	26
	% por orientação	42,3%	15,4%	-	42,3%	-	100,0%
	% por momento de abertura	17,2%	23,5%	-	57,9%	-	-
	% do total geral	10,9%	3,9%	-	10,9%	-	25,7%
<b>Oeste</b>	Frequência	21	6	-	4	-	31
	% por orientação	67,8%	19,3%	--	12,9%	-	100,0%
	% por momento de abertura	32,8%	35,3%	-	21,0%	-	-
	% do total geral	20,8%	5,9%	-	3,9%	-	30,7%
<b>Total</b>	Frequência	64	17	-	19	1	101
	% por momento de abertura	100,0%	100,0%	-	100,0%	100,0%	-

Tabela D.3 – Relação entre a orientação dos ambientes e o principal motivo de abertura das persianas.

Orientação		Motivo de abertura			Total
		Aprov. luz natural	Apreço pela vista	Sensação de conforto	
Norte	Frequência	11	3	19	33
	% em relação à orientação	33,3%	9,1%	57,6%	100,0%
	% em relação ao motivo de abertura	37,9%	18,7%	33,9%	-
	% em relação ao total geral	10,9%	2,9%	18,8%	32,7%
Sul	Frequência	2	3	6	11
	% em relação à orientação	18,2%	27,3%	54,5%	100,0%
	% em relação ao motivo de abertura	6,9%	18,7%	10,7%	-
	% em relação ao total geral	1,9%	2,9%	5,9%	10,9%
Leste	Frequência	9	1	16	26
	% em relação à orientação	34,7%	3,8%	61,5%	100,0%
	% em relação ao motivo de abertura	31,0%	6,2%	28,6%	-
	% em relação ao total geral	8,9%	0,9%	15,8%	25,7%
Oeste	Frequência	7	9	15	31
	% em relação à orientação	22,6%	29,0%	48,4%	100,0%
	% em relação ao motivo de abertura	24,1%	56,2%	26,8%	-
	% em relação ao total geral	6,9%	8,9%	14,8%	30,7%
Total	Frequência	29	16	56	101
	% em relação ao motivo de abertura	100,0%	100,0%	100,0%	-

Tabela D.4 – Relação entre a orientação dos ambientes e o fechamento das persianas.

Orientação		Fechamento das persianas			Total
		Sim	Às vezes	Não	
Norte	Frequência	14	15	11	40
	% por orientação	35,0%	37,5%	27,5%	100,0%
	% por fechamento das persianas	28,0%	40,5%	14,3%	-
	% do total geral	8,5%	9,1%	6,7%	24,4%
Sul	Frequência	7	1	34	42
	% por orientação	16,7%	2,4%	80,9%	100,0%
	% por fechamento das persianas	14,0%	2,7%	44,2%	-
	% do total geral	4,3%	0,6%	20,7%	25,6%
Leste	Frequência	10	12	17	39
	% por orientação	25,6%	30,8%	43,6%	100,0%
	% por fechamento das persianas	20,0%	32,4%	22,1%	-
	% do total geral	6,1%	7,3%	10,4%	23,8%
Oeste	Frequência	19	9	15	43
	% por orientação	44,2%	20,9%	34,9%	100,0%
	% por fechamento das persianas	38,0%	24,3%	19,5%	-
	% do total geral	11,6%	5,5%	9,1%	26,2%
Total	Frequência	50	37	77	164
	% por fechamento das persianas	100,0%	100,0%	100,0%	-

Tabela D.5 - Relação entre a orientação dos ambientes e o momento de fechamento das persianas.

Orientação		Momento de fechamento					Total
		Ao chegar	Pela manhã	Depois almoço	Na saída	À tarde	
Norte	Frequência	2	6	3	1	17	29
	% por orientação	6,9%	20,7%	10,3%	3,4%	58,6%	100%
	% por momento de fechamento	28,6%	26,1%	27,3%	14,3%	43,6%	-
	% do total geral	2,3%	6,9%	3,4%	1,1%	19,5%	33,3%
Sul	Frequência	-	1	-	3	4	8
	% por orientação	-	12,5%	-	37,5%	50,0%	100%
	% por momento de fechamento	-	4,3%	-	42,8%	10,3%	9,2%
	% do total geral	-	1,1%	-	3,4%	4,6%	9,2%
Leste	Frequência	3	12	-	2	5	22
	% por orientação	13,7%	54,5%	-	9,1%	22,7%	100%
	% por momento de fechamento	42,9%	52,2%	-	28,6%	12,8%	25,3%
	% do total geral	3,4%	13,8%	-	2,3%	5,7%	25,3%
Oeste	Frequência	2	4	8	1	13	28
	% por orientação	7,1%	14,3%	28,6%	3,6%	46,4%	100%
	% por momento de fechamento	28,6%	17,4%	72,7%	14,3%	33,3%	32,2%
	% do total geral	2,3%	4,6%	9,2%	1,1%	14,9%	32,2%
Total	Frequência	7	23	11	7	39	87
	% por momento de fechamento	100%	100%	100%	100%	100%	-

Tabela D.6 – Relação entre a orientação dos ambientes e o motivo de fechamento das persianas.

Orientação		Motivo de fechamento				Total
		Luz solar excessiva	Temp. elevada	Privacidade	Outro	
N	Frequência	21	8	-	-	29
	% em relação à orientação	72,41	27,6%	-	-	100%
	% em relação ao motivo de fechamento	31,3%	53,3%	-	-	-
	% em relação ao total	24,1%	9,2%	-	-	33,3%
S	Frequência	5	-	2	1	8
	% em relação à orientação	62,5%	-	25,0%	12,5%	100%
	% em relação ao motivo de fechamento	7,5%	-	50,0%	100,0%	-
	% em relação ao total	5,7%	-	2,3%	1,1%	9,1%
L	Frequência	17	4	1	-	22
	% em relação à orientação	77,3%	18,2%	4,5%	-	100%
	% em relação ao motivo de fechamento	25,4%	26,7%	25,0%	-	-
	% em relação ao total	19,5%	4,6%	1,1%	-	25,2%
O	Frequência	24	3	1	-	28
	% em relação à orientação	85,7%	10,7%	3,6%	-	100%
	% em relação ao motivo de fechamento	35,8%	20,0%	25,0%	-	-
	% em relação ao total	27,6%	3,4%	1,1%	-	32,1%
Total	Frequência	67	15	4	1	87
	% em relação ao motivo de fechamento	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	-

Tabela D.7 – Relação entre a distância dos usuários à janela e a abertura das persianas.

Distância entre o ocupante e a janela		Abre as persianas?			Total
		Sim	Às vezes	Não	
1m	Frequência	26	13	21	60
	% em relação à distância da janela	43,3%	21,6%	35,0%	100%
1-3m	Frequência	29	24	31	84
	% em relação à distância da janela	34,5%	28,6%	36,9%	100,0%
3m	Frequência	7	2	11	20
	% em relação à distância da janela	35,0%	10,0%	55,0%	100,0%
<b>Frequência total</b>		62	39	63	164

Tabela D.8 - Relação entre a distância dos usuários à janela e o fechamento das persianas.

Distância entre o ocupante e a janela		Fecha as persianas?			Total
		Sim	Às vezes	Não	
1m	Frequência	24	14	22	60
	% em relação à distância da janela	40,0%	23,3%	36,7%	100%
1-3m	Frequência	23	20	41	84
	% em relação à distância da janela	27,4%	23,8%	48,8%	100%
3m	Frequência	3	3	14	20
	% em relação à distância da janela	15,0%	15,0%	70,0%	100%
<b>Frequência total</b>		50	37	77	164

## APÊNDICE E – DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO DOS MODELOS SIMULADOS

Os consumos dos modelos simulados foram separados de acordo com as características da envoltória dos modelos e são apresentados na Tabela E.1. Os resultados indicaram consumo constante para os equipamentos dado que a carga inserida nas simulações foi a mesma em todos os modelos.

Tabela E.1 – Consumos com iluminação, aquecimento, resfriamento e total dos modelos simulados.

Orientação	Geometria	Abertura da fachada [%]	Situação dos sombreamentos internos	Consumo em kWh/m <sup>2</sup> .ano				
				Iluminação	Equipamentos	Aquecimento	Resfriamento	Consumo total
Norte	1:1	25	Abertos	2,1	30,8	0,1	22,0	55,1
Norte	1:1	25	Ajustados	2,8	30,8	0,2	21,2	54,9
Norte	1:1	25	Fechados	15,8	30,8	0,1	20,0	66,7
Norte	1:1	50	Abertos	0,7	30,8	0,1	37,7	69,4
Norte	1:1	50	Ajustados	1,4	30,8	0,1	34,9	67,3
Norte	1:1	50	Fechados	12,6	30,8	0,1	31,5	75,1
Norte	1:1	80	Abertos	0,2	30,8	0,1	56,8	87,9
Norte	1:1	80	Ajustados	1,0	30,8	0,1	51,1	83,0
Norte	1:1	80	Fechados	10,4	30,8	0,1	46,1	87,5
Norte	1:2	25	Abertos	12,6	30,8	0,1	17,6	61,1
Norte	1:2	25	Ajustados	13,2	30,8	0,1	17,0	61,1
Norte	1:2	25	Fechados	16,3	30,8	0,1	15,8	63,0



Tabela E.1 – Consumos com iluminação, aquecimento, resfriamento e total dos modelos simulados (continuação).

Orientação	Geometria	Abertura da fachada [%]	Situação dos sombreamentos internos	Consumo em kWh/m <sup>2</sup> .ano				
				Iluminação	Equipamentos	Aquecimento	Resfriamento	Consumo total
Norte	1:2	50	Abertos	6,8	30,8	0,1	25,1	62,7
Norte	1:2	50	Ajustados	8,2	30,8	0,0	25,3	64,4
Norte	1:2	50	Fechados	15,9	30,8	0,1	23,8	70,5
Norte	1:2	80	Abertos	3,1	30,8	0,1	34,9	68,9
Norte	1:2	80	Ajustados	5,6	30,8	0,1	31,6	68,0
Norte	1:2	80	Fechados	15,4	30,8	0,1	29,6	75,9
Norte	2:1	25	Abertos	1,2	30,8	0,1	21,8	53,9
Norte	2:1	25	Ajustados	3,3	30,8	0,1	20,5	54,7
Norte	2:1	25	Fechados	13,3	30,8	0,1	19,6	63,8
Norte	2:1	50	Abertos	0,2	30,8	0,1	37,9	69,1
Norte	2:1	50	Ajustados	1,4	30,8	0,1	34,0	66,3
Norte	2:1	50	Fechados	10,3	30,8	0,1	31,3	72,5
Norte	2:1	80	Abertos	0,1	30,8	0,1	56,7	87,8
Norte	2:1	80	Ajustados	0,8	30,8	0,1	49,9	81,6
Norte	2:1	80	Fechados	7,8	30,8	0,1	45,9	84,6

Tabela E.1 – Consumos com iluminação, aquecimento, resfriamento e total dos modelos simulados (continuação).

Orientação	Geometria	Abertura da fachada [%]	Situação dos sombreamentos internos	Consumo em kWh/m <sup>2</sup> .ano				
				Iluminação	Equipamentos	Aquecimento	Resfriamento	Consumo total
Sul	1:1	25	Abertos	2,7	30,8	0,5	11,0	45,0
Sul	1:1	25	Ajustados	2,7	30,8	0,5	11,0	45,0
Sul	1:1	25	Fechados	18,1	30,8	0,4	12,0	61,3
Sul	1:1	50	Abertos	0,8	30,8	0,4	16,5	48,5
Sul	1:1	50	Ajustados	0,8	30,8	0,4	16,5	48,5
Sul	1:1	50	Fechados	12,9	30,8	0,4	15,1	59,3
Sul	1:1	80	Abertos	0,3	30,8	0,4	23,5	55,0
Sul	1:1	80	Ajustados	0,4	30,8	0,4	23,5	55,1
Sul	1:1	80	Fechados	15,8	30,8	0,4	21,4	68,4
Sul	1:2	25	Abertos	15,3	30,8	0,2	11,8	58,2
Sul	1:2	25	Ajustados	15,8	30,8	0,2	11,9	58,7
Sul	1:2	25	Fechados	16,4	30,8	0,2	11,2	58,6
Sul	1:2	50	Abertos	9,4	30,8	0,2	13,9	54,3
Sul	1:2	50	Ajustados	9,4	30,8	0,2	13,9	54,3
Sul	1:2	50	Fechados	16,3	30,8	0,2	13,5	60,8
Sul	1:2	80	Abertos	5,2	30,8	0,2	16,8	53,1
Sul	1:2	80	Ajustados	5,2	30,8	0,2	16,8	53,1
Sul	1:2	80	Fechados	16,2	30,8	0,2	16,2	63,5

Tabela E.1 – Consumos com iluminação, aquecimento, resfriamento e total dos modelos simulados (continuação).

Orien- tação	Geo- metria	Abertura da fachada [%]	Situação dos sombreamentos internos	Consumo em kWh/m <sup>2</sup> .ano				
				Ilumi- nação	Equip- mentos	Aqueci- mento	Resfria- mento	Consumo total
Sul	2:1	25	Abertos	2,7	30,8	0,4	11,0	44,9
Sul	2:1	25	Ajustados	2,7	30,8	0,4	11,0	44,9
Sul	2:1	25	Fechados	15,6	30,8	0,4	11,5	58,3
Sul	2:1	50	Abertos	0,5	30,8	0,4	16,2	47,9
Sul	2:1	50	Ajustados	0,5	30,8	0,4	16,2	47,9
Sul	2:1	50	Fechados	14,4	30,8	0,5	13,7	59,4
Sul	2:1	80	Abertos	0,2	30,8	0,4	23,3	54,8
Sul	2:1	80	Ajustados	0,2	30,8	0,4	23,0	54,4
Sul	2:1	80	Fechados	12,1	30,8	0,4	20,6	64,0
Leste	1:1	25	Abertos	2,6	30,8	0,2	20,1	53,8
Leste	1:1	25	Ajustados	6,4	30,8	0,2	18,7	56,1
Leste	1:1	25	Fechados	15,2	30,8	0,2	18,1	64,3
Leste	1:1	50	Abertos	0,7	30,8	0,1	34,0	65,7
Leste	1:1	50	Ajustados	4,1	30,8	0,1	27,0	62,1
Leste	1:1	50	Fechados	12,9	30,8	0,1	27,7	71,5
Leste	1:1	80	Abertos	0,3	30,8	0,1	51,1	82,3
Leste	1:1	80	Ajustados	2,3	30,8	0,1	39,8	73,0
Leste	1:1	80	Fechados	10,4	30,8	0,1	40,2	81,5

Tabela E.1 – Consumos com iluminação, aquecimento, resfriamento e total dos modelos simulados (continuação).

Orientação	Geometria	Abertura da fachada [%]	Situação dos sombreamentos internos	Consumo em kWh/m <sup>2</sup> .ano				
				Iluminação	Equipamentos	Aquecimento	Resfriamento	Consumo total
Leste	1:2	25	Abertos	11,7	30,8	0,1	16,3	59,0
Leste	1:2	25	Ajustados	13,9	30,8	0,1	15,6	60,4
Leste	1:2	25	Fechados	16,1	30,8	0,1	14,9	61,9
Leste	1:2	50	Abertos	6,8	30,8	0,1	22,9	60,6
Leste	1:2	50	Ajustados	12,4	30,8	0,1	19,0	62,2
Leste	1:2	50	Fechados	15,6	30,8	0,1	18,9	65,5
Leste	1:2	80	Abertos	3,3	30,8	0,1	31,3	65,5
Leste	1:2	80	Ajustados	9,8	30,8	0,1	24,2	65,0
Leste	1:2	80	Fechados	15,1	30,8	0,1	24,5	70,5
Leste	2:1	25	Abertos	1,5	30,8	0,2	20,1	52,6
Leste	2:1	25	Ajustados	4,4	30,8	0,2	17,9	53,3
Leste	2:1	25	Fechados	12,2	30,8	0,2	17,7	60,9
Leste	2:1	50	Abertos	0,3	30,8	0,1	34,2	65,4
Leste	2:1	50	Ajustados	3,2	30,8	0,1	27,0	61,2
Leste	2:1	50	Fechados	10,5	30,8	0,1	27,4	68,9
Leste	2:1	80	Abertos	0,2	30,8	0,0	53,6	84,6
Leste	2:1	80	Ajustados	1,9	30,8	0,1	39,5	72,4
Leste	2:1	80	Fechados	8,5	30,8	0,1	39,8	79,2

Tabela E.1 – Consumos com iluminação, aquecimento, resfriamento e total dos modelos simulados (continuação).

Orientação	Geometria	Abertura da fachada [%]	Situação dos sombreamentos internos	Consumo em kWh/m <sup>2</sup> .ano				
				Iluminação	Equipamentos	Aquecimento	Resfriamento	Consumo total
Oeste	1:1	25	Abertos	1,9	30,8	0,3	19,2	52,3
Oeste	1:1	25	Ajustados	2,4	30,8	0,3	18,2	51,6
Oeste	1:1	25	Fechados	16,2	30,8	0,3	17,9	65,2
Oeste	1:1	50	Abertos	0,5	30,8	0,3	32,9	64,5
Oeste	1:1	50	Ajustados	0,8	30,8	0,3	30,1	62,0
Oeste	1:1	50	Fechados	14,0	30,8	0,3	27,6	72,7
Oeste	1:1	80	Abertos	0,2	30,8	0,3	49,6	80,9
Oeste	1:1	80	Ajustados	0,5	30,8	0,4	43,8	75,5
Oeste	1:1	80	Fechados	12,3	30,8	0,3	39,6	83,0
Oeste	1:2	25	Abertos	13,7	30,8	0,1	16,2	60,8
Oeste	1:2	25	Ajustados	14,0	30,8	0,1	16,0	61,0
Oeste	1:2	25	Fechados	16,2	30,8	0,1	14,9	62,1
Oeste	1:2	50	Abertos	7,5	30,8	0,1	23,1	61,5
Oeste	1:2	50	Ajustados	8,1	30,8	0,1	21,7	60,7
Oeste	1:2	50	Fechados	15,9	30,8	0,1	20,1	66,9
Oeste	1:2	80	Abertos	3,4	30,8	0,1	31,5	65,7
Oeste	1:2	80	Ajustados	5,4	30,8	0,1	29,1	65,4
Oeste	1:2	80	Fechados	15,4	30,8	0,1	26,4	72,7

Tabela E.1 – Consumos com iluminação, aquecimento, resfriamento e total dos modelos simulados (continuação).

Orientação	Geometria	Abertura da fachada [%]	Situação dos sombreamentos internos	Consumo em kWh/m <sup>2</sup> .ano				
				Iluminação	Equipamentos	Aquecimento	Resfriamento	Consumo total
Oeste	2:1	25	Abertos	1,4	30,8	0,5	19,5	52,2
Oeste	2:1	25	Ajustados	1,9	30,8	0,3	18,0	51,1
Oeste	2:1	25	Fechados	13,7	30,8	0,3	17,5	62,3
Oeste	2:1	50	Abertos	0,3	30,8	0,3	33,1	64,5
Oeste	2:1	50	Ajustados	0,7	30,8	0,3	29,9	61,8
Oeste	2:1	50	Fechados	11,6	30,8	0,3	27,6	70,3
Oeste	2:1	80	Abertos	0,2	30,8	0,3	49,5	80,8
Oeste	2:1	80	Ajustados	0,4	30,8	0,3	43,3	74,8
Oeste	2:1	80	Fechados	10,0	30,8	0,3	39,7	80,8