



INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO DOS USUÁRIOS COM ELEMENTOS INTERNOS DE SOMBREAMENTO NO CONSUMO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS

Mateus Vinícius Bavaresco (1); EneDIR Ghisi (2)

(1) Mestre em Engenharia Civil, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, mateus.bavaresco@posgrad.ufsc.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir@labeec.ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-5184

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 W/m^2 no plano de trabalho. A avaliação quantitativa consistiu em simulações computacionais a fim de mensurar a influência dos padrões de comportamento no consumo energético de edificações. As simulações foram realizadas com o plug-in DIVA 4.0, que emprega o programa computacional *EnergyPlus* nos cálculos de desempenho energético. Percebeu-se que se os elementos internos de sombreamento forem mantidos abertos, apesar de proporcionarem maior aproveitamento de luz natural, o consumo com resfriamento será elevado, tendo em vista o ganho excessivo de carga térmica pela radiação solar incidente. Dessa forma, como tendência geral, percebeu-se que o comportamento do usuário ativo resulta em menor consumo de energia em comparação aos dois perfis de usuário passivo avaliados, pois permite balancear os cenários de aproveitamento de luz natural e redução de carga térmica interna.

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

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the occupants' interactions with internal blinds of an office building under both qualitative and quantitative aspects. The qualitative one consisted in applying surveys 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 pattern consists of maintaining internal blinds always open throughout the year. 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 W/m^2 is perceived on the work surface. Quantitative evaluation consisted of computer simulations in order to estimate the influence of behavioural patterns in the energy consumption of buildings. The simulations were performed using the DIVA 4.0 plug-in, which in turn uses the EnergyPlus software for the energy performance calculations. It was noticed that if internal blinds are kept open all year long, in spite of providing greater amount of daylight, the energy consumption for cooling because of the excessive thermal load gain due to incident solar radiation. Thus, as a general trend, the active user pattern results in lower overall energy consumption when compared to the two passive users' pattern, because it allows to balance the scenarios of daylight use and reduction of internal thermal load.

Keywords: energy efficiency of buildings, daylighting, occupant behaviour, computer simulation.

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 é semelhante e as edificações consomem grande parcela da energia elétrica. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2016, as edificações comerciais consumiram 14,8% do total de energia elétrica gerada (BRASIL, 2016).

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 pode ser ajustado – ou não – pelos ocupantes do ambiente e, deste modo, sua influência no desempenho energético de edificações pode ser variável.

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 necessária mais precisão nas predições de consumo em 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 considerem as interações dos usuários com os elementos de sombreamento, podem apresentar erros em relação aos consumos medidos durante a ocupação.

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.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a influência da interação dos usuários com elementos internos de sombreamento na eficiência energética de edificações comerciais de Florianópolis-SC, a partir de aplicação de questionários para criação de padrões de comportamento e simulação computacional de desempenho energético considerando os padrões criados.

3. MÉTODO

O método deste artigo está dividido em duas etapas:

1. Aplicação de questionários a usuários de uma edificação de escritórios, por meio de visitas ao local, para avaliação do comportamento dos usuários de uma edificação em Florianópolis. A partir dos questionários, foram criados padrões de interação dos mesmos com os elementos internos de sombreamento;
2. Simulações computacionais de aproveitamento de luz natural e de desempenho termoenergético em modelos estabelecidos empregando os padrões de comportamento obtidos na avaliação em campo.

3.1. Edificação avaliada no estudo de caso

A edificação avaliada com aplicação de questionários localiza-se em Florianópolis-SC, não possui elementos externos de sombreamento, como *brises-soleil*, e não sofre influência de sombreamento por edificações ou elementos do entorno. Definiu-se avaliar um edifício com essas características dado que a existência de elementos externos de sombreamento pode reduzir as interações dos usuários com os elementos internos.

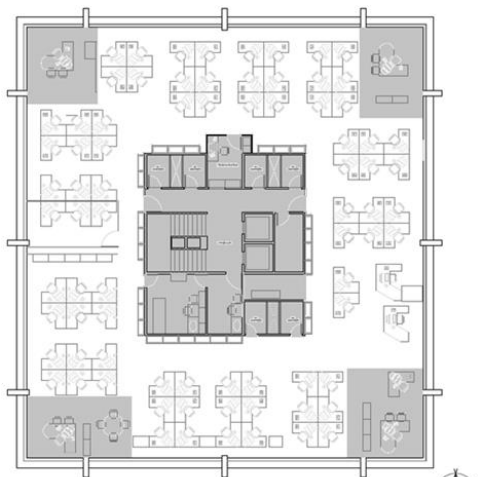


Figura 1 – Planta da edificação avaliada no estudo de caso.



avaliadas células com uma única fachada envidraçada.

Assim, como o 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 1 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, consequentemente, 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 próximas a uma única janela. Esta decisão torna as simulações e os dados dos questionários mais consonantes, dado que, nas simulações, foram

3.2. Aplicação de questionário aos usuários da edificação

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.

3.3. 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 essas análises, foi possível conhecer momentos de abertura e fechamento dos elementos internos de sombreamento e os principais motivos de interação relatados pelos usuários. Alguns exemplos de perguntas que nortearam a determinação dos padrões comportamentais: Você abre as persianas do seu ambiente de trabalho? (Sim ou Não); Em que momento? (Opções, como: ao chegar, durante o expediente matutino, depois do almoço, durante o expediente vespertino, na saída); O que mais te motiva a abrir as persianas? (Opções como aproveitamento da luz natural, apreço pela vista, sensação de conforto, outro).

Estes dados foram necessários tanto nas simulações de iluminação natural quanto nas de desempenho termoenergético. Foram criados três perfis comportamentais, dois de usuários passivos e um de usuários ativos. Neste tópico são apresentadas as particularidades de todos os perfis comportamentais.

3.3.1. 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.

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 desses elementos 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.

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 o de todos os ocupantes. 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.

3.3.2. 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 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.

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 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 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, idealizador do *Daysim* e do *plugin 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 W/m^2 de radiação solar no plano de trabalho (REINHART, 2001).

3.4. 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 e padrão 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).

3.4.1. Características dos ambientes simulados

Foram simuladas zonas térmicas individuais, todas com uma única fachada envidraçada, representando aproximações entre o estudo e o modelo observado em campo. As fachadas não envidraçadas, bem como piso e cobertura, foram considerados adiabáticos. As propriedades termofísicas da fachada envidraçada foram obtidas no levantamento realizado por Santana (2006), que definiu os parâmetros construtivos de edificações de escritório localizadas em Florianópolis-SC. Os modelos adotados têm dimensões de 5,00 m x 5,00 m e pé-direito de 3,00 m.

Os modelos foram simulados variando a orientação da fachada envidraçada em norte, sul, leste e oeste. Em todos os casos, considerou-se 50% de abertura. O vidro inserido na fachada apresenta transmitância à luz visível de 0,88, 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.

Por se tratar de um edifício de escritório, os horários de ocupação foram definidos entre 8h e 18h, com horário de intervalo das 12h às 14h, com exceção dos finais de semana, quando o edifício não é ocupado. A ocupação foi definida com base nos horários de funcionamento da edificação onde foram aplicados os questionários. 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.

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 dimerizável e automatizado. Com a iluminação natural integrada à artificial, quando a luz natural garante a obtenção de 500 lux no plano de trabalho, a artificial é desligada.

3.4.2. Simulações de iluminação natural

Inicialmente foram realizadas as simulações de autonomia 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* (combinação de horários) do sistema de iluminação artificial e dos elementos internos de sombreamento; tais *schedules* foram usadas na etapa seguinte, nas simulações termoenergéticas.

Algumas características dos modelos devem ser definidas para as simulações de iluminação natural. Desta forma, o teto dos modelos foi considerado branco, com refletância de 80%, as paredes claras, com refletância de 50% e o piso médio, com refletância de 30%. 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 0,50 m entre os sensores, 0,75 m de altura em relação ao piso e direção vertical para cima para medição das iluminâncias. 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 (1 m da janela) foi obtida com a aplicação de questionários na edificação avaliada nos estudos de campo, afinal, percebeu-se que os usuários mais próximos das aberturas são os maiores responsáveis pelas interações com os elementos internos de sombreamento.

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

3.4.3. Simulações do ambiente térmico

As simulações foram realizadas com o programa computacional *EnergyPlus*, 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* (intervalo entre cálculos) adotado é 4, o que corresponde a 4 cálculos de balanço de transferência de calor por hora.

As cargas térmicas internas dos modelos simulados são apresentadas na Tabela 1. Inseriu-se 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. O *setpoint* (ponto de controle de temperatura) de resfriamento adotado foi 24°C e o de aquecimento foi 20°C. 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). 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 m³/h/pessoa 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.

Baseando-se no trabalho de Santana (2006), a ocupação típica de escritórios é 14,7 m²/pessoa. Entretanto, adotou-se ocupação observada na edificação avaliada no estudo de caso, que corresponde a 10,5 m²/pessoa nas simulações a fim de garantir que existam, pelo menos, duas pessoas nos ambientes. 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 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 m², a carga térmica devida às pessoas é de 12,38 W/m².

Tabela 1 – Cargas térmicas dos modelos simulados.

Cargas internas	W/m²
Equipamentos	14,76
Iluminação	8,96
Pessoas	12,38

O padrão de uso dos equipamentos e dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar coincide com a ocupação dos ambientes. Isto é, das 8h às 18h, com intervalo das 12h às 14h. Ao contrário dos equipamentos, o sistema de iluminação tem sua potência variável ao longo do dia, de acordo com os níveis de aproveitamento de iluminação natural.

3.5 Análise dos dados

Os dados obtidos com os questionários foram analisados isoladamente, cruzados entre si (motivos de interação e orientação, por exemplo), e cruzados com variáveis externas (como a carta solar de Florianópolis). Assim, foi possível conhecer as particularidades das interações dos usuários com os elementos internos de sombreamento. Os dados de consumo foram divididos em iluminação, refrigeração e total, e agrupados conforme a orientação e os perfis de comportamento dos usuários.

4. RESULTADOS

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos neste artigo. Inicialmente, serão mostrados os dados referentes à aplicação de questionário aos usuários de uma edificação de Florianópolis-SC. Por fim, os resultados das simulações computacionais de desempenho termoenergético dos modelos testados.

4.1. 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 conforme 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 que abrem 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 2 são apresentados os principais momentos de fechamento descritos pelos usuários de acordo com as orientações avaliadas.

Tabela 2 – Relação entre as orientações avaliadas e os principais momentos de fechamento das persianas.

Orientação	Principal momento de fechamento
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

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 sensação 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). Desta forma, concluiu-se que a baixa frequência de interação dos usuários visando o fechamento dos elementos internos de sombreamento é devida aos baixos níveis de radiação solar incidentes durante o 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.

4.2. Avaliação dos dados de consumo obtidos com simulação computacional

Na Figura 2 são apresentados os consumos obtidos com as simulações variando a orientação do modelo. Estes consumos são referentes ao sistema de iluminação, refrigeração e total, que inclui aquecimento e equipamentos. Os consumos com aquecimento não são mostrados isoladamente uma vez que, em todos os casos, são próximos de zero. Quanto aos equipamentos, os perfis de comportamento avaliados não incluem variação na potência dos mesmos, desta forma, todos os consumos observados para os equipamentos são constantes e valem 30,8 kWh/m².ano. Os perfis de comportamento avaliados foram divididos em três usuários:

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

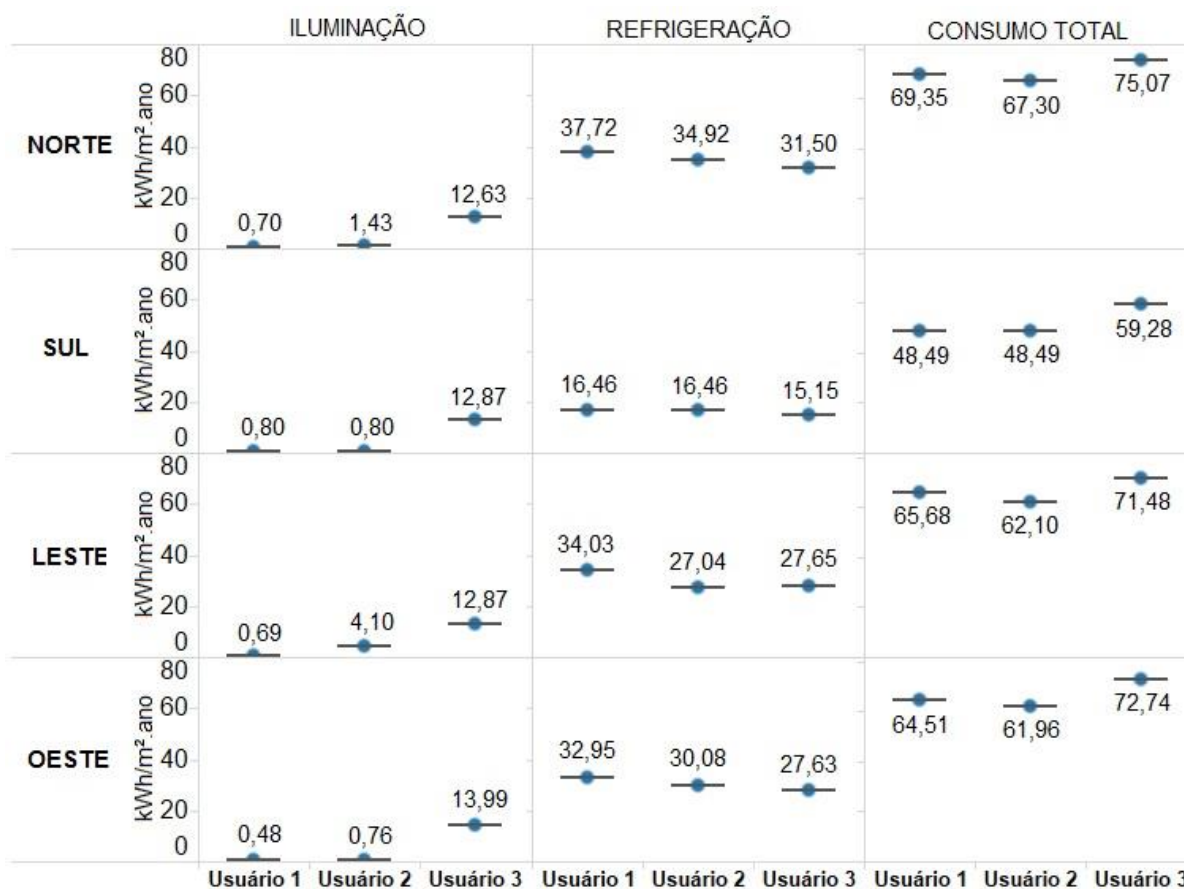


Figura 2 – Relação entre a orientação dos ambientes simulados e os consumos (kWh/m².ano) com iluminação, resfriamento e total dos perfis de comportamento de usuário avaliados.

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

- Norte: a orientação norte é que recebe maior incidência de radiação solar na latitude de Florianópolis. Desta forma, é possível perceber que os consumos com refrigeração e, conseqüentemente, os consumos totais são os maiores para os três usuários. O usuário 3 representa grande redução proporcional de consumo com refrigeração em relação ao usuário 1. Entretanto, a elevada incidência de radiação solar implica nos maiores consumos totais para o usuário 3 dentre as orientações avaliadas.
- Sul: os consumos com iluminação artificial resultantes dos usuários 1 e 2 foram os mesmos. Como observado em campo, os elementos internos de sombreamento tendem a permanecer abertos durante todo o ano nesta orientação. Deste modo, o aproveitamento de luz natural não sofre impactos negativos com a obstrução da janela. Seguindo este padrão, o usuário 2 não resultou em reduções na carga térmica interna, dado que as persianas se mantiveram abertas. Assim, os consumos com refrigeração para os usuários 1 e 2 também foram idênticos. O usuário 3 resulta em pouca economia energética com refrigeração, pois a orientação sul é a menos influenciada pela radiação direta para a latitude de Florianópolis e, desta forma, manter os elementos internos de sombreamento fechados implica em pouca redução de ganho térmico pela radiação. Avaliando-se os consumos totais, tem-se que o usuário 3 resulta nos maiores acréscimos em relação aos usuários 1 e 2. Este fato é devido ao acréscimo de consumo com iluminação 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 menor incidência de radiação solar direta.
- Leste: nesta orientação, percebeu-se a maior influência do usuário 2 no consumo com iluminação artificial. Esse aumento no consumo é devido aos usuários tenderem a fechar os elementos internos de sombreamento ainda no período matutino e mantê-los fechados durante o resto do dia. Esta característica também foi observada nas avaliações realizadas em campo. Percebeu-se que o usuário 2 resulta na maior

redução de consumo com refrigeração em relação ao usuário 1 dentre as orientações avaliadas. Quanto ao consumo com refrigeração, esta é a única orientação em que o usuário 2 foi mais eficiente que o usuário 3. Este fato é devido ao aproveitamento de luz natural proporcionado pelas interações com os elementos internos de sombreamento no perfil de comportamento 2. O usuário 3 resulta em pouco aproveitamento de luz natural, assim, o próprio sistema de iluminação artificial resulta em acréscimo de carga térmica de resfriamento.

- Oeste: dentre as orientações com maiores incidências de radiação direta (norte, leste e oeste), o usuário 2 resulta nos menores consumos com iluminação na orientação oeste. Este fato é devido aos principais momentos de interação dos usuários com os elementos internos de sombreamento. Enquanto as fachadas norte e leste recebem radiação ainda no período matutino, na fachada oeste a incidência de radiação ocorre no período vespertino. Assim, os usuários tendem a manter os elementos internos de sombreamento abertos durante a manhã e fechá-los à tarde, o que possibilita o aproveitamento de luz natural no período matutino e resulta nos menores consumos anuais com iluminação artificial. Entretanto, essa particularidade do comportamento do usuário 2 na orientação oeste resulta nas menores reduções proporcionais de consumo com refrigeração comparando-se às orientações leste e oeste. Isto é, por passarem menos tempo obstruídas, as janelas são responsáveis por transferir mais calor ao ambiente interno e, conseqüentemente, os consumos com refrigeração são maiores.

Com a Figura 2, é possível 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 direta) e as orientações leste e oeste (que recebem níveis de radiação direta semelhantes, porém em momentos distintos do dia). Nos ambientes com orientação sul, por receberem pouca radiação solar direta, percebeu-se que os elementos internos de sombreamento são mantidos abertos, e, desta forma, os usuários 1 e 2 resultaram em valores similares de aproveitamento de luz natural. Entretanto, grandes variações são percebidas nos ambientes com orientação leste e oeste. Afinal, na orientação leste, os elementos internos de sombreamento tendem a ser fechados 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.

5. CONCLUSÕES

Inicialmente, com a aplicação de questionários a 164 usuários de uma edificação de escritório em Florianópolis, foi possível conhecer o comportamento dos mesmos em relação 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 sentem desconfortáveis com o ambiente. Embora tenha sido relatado desconforto por temperatura e por ofuscamento causando interação com os elementos internos de sombreamento, a maioria dos usuários interage por desconforto com o ambiente visual. O principal motivo relatado é o excesso de radiação solar no plano de trabalho.

Confrontando-se os dados obtidos com os questionários aos dados de radiação direta para a latitude de Florianópolis, percebeu-se convergência entre os principais momentos de interação e os momentos em que os ambientes estão recebendo radiação direta. Deste modo, concluiu-se que as interações dos usuários visando o fechamento dos elementos de sombreamento estão relacionadas às orientações dos ambientes.

Com os resultados das simulações computacionais percebeu-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 usuário ativo em relação ao sistema de iluminação, tem-se que a orientação do modelo configura variação no consumo 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, com altos níveis de radiação, percebeu-se que o momento de incidência da radiação solar influencia nos resultados de consumo, uma vez que o usuário ativo resulta em maiores consumos nos ambientes com orientação leste. Afinal, as interações visando fechamento dos elementos internos de sombreamento tendem a ocorrer no período matutino, implicando em baixos níveis de aproveitamento 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, o que implica em menores consumos com iluminação artificial.

Como tendência geral, percebeu-se que o usuário ativo favorece menores consumos totais em relação aos usuários passivos, independentemente da orientação avaliada. Enquanto os usuários passivos promovem em cenários extremos de aproveitamento de luz natural e variação da carga térmica interna, o comportamento dos usuários ativos possibilita balancear esses cenários. Desta forma, os usuários ativos possibilitam reduções de consumo tanto no sistema de iluminação quanto no de condicionamento de ar.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ALLOUHI, A.; EL FOUIH, Y.; KOUSKSOU, T.; JAMIL, A.; ZERAOULI, Y.; MOURAD, Y. Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. **Journal of Cleaner Production**. p. 1-13, 2015.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2016**: ano-base 2015. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2016.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução – RE Nº 9, de 16 de janeiro de 2003**. Determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. 2003.
- 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>. Acesso em: jun. 2016.
- GAGO, E. J.; MUNEER, 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.
- 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>. Acesso em: jun. 2016.
- 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.
- 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.; NIEMASZ, J. **DIVA FOR RHINO** – Environmental Analysis for Buildings. Disponível em: <<http://diva4rhino.com/user-guide>>. Acesso em mar. 2016.
- 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.
- US DEPARTMENT OF ENERGY – US DOE. **Energy simulation Software – Weather Data**. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm>. Acesso em: abr. 2016.
- WYMELENBERG, V. D. K. Patterns of occupant interaction with window blinds: a literature review. **Energy and Buildings**. v. 51, p. 165-176, 2012.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL pela bolsa de estudos fornecida ao primeiro autor.