

Avaliação do comportamento de usuários em escritórios compartilhados em Florianópolis: estudo de caso sobre janelas, luminárias e aparelhos de ar-condicionado

Assessing occupant behaviour in open-plan offices in Florianópolis: a case study regarding windows, lighting, and air-conditioning systems

EneDir Ghisi 

Mateus Bavaresco 

Acácio Gomes Corrêa Silvestre 

Resumo

A influência do comportamento dos usuários em edificações é amplamente discutida como uma das causas para discrepâncias entre consumos energéticos esperados, durante a fase de projeto, e consumos durante a operação. Conhecer os principais motivadores para ajustes nos sistemas de edificações é imprescindível para aprimorar a modelagem desses comportamentos. O objetivo deste estudo é avaliar os principais agentes motivadores para o ajuste das janelas, luminárias e aparelhos de ar-condicionado em escritórios. Dois escritórios foram monitorados por meio de sensores que coletaram dados de qualidade do ambiente interno e comportamento de usuário. Foram consideradas influentes para a interação com sistemas de janelas a pluviometria e as temperaturas do ar externo e interno. O aumento das temperaturas interna e externa apresentou ainda mais influência na interação com aparelhos de ar-condicionado. Duas foram as principais conclusões: há influência do *layout* dos escritórios no compartilhamento e controle das janelas e eficiência de estratégias passivas, como o uso de ventilação natural e cruzada; e há influência do aumento da temperatura interna em comparação à externa na previsibilidade de abertura de janelas e acionamento de aparelhos de ar-condicionado.

Palavras-chave: Comportamento do usuário. Qualidade ambiental interna. Escritórios.

Abstract

The influence of occupant behaviour in buildings is widely discussed as one of the causes for the gap between energy use estimated via computer simulation and during building operation. Knowing the main drivers for adjustments in building systems is essential to guide the development of mathematical models for such behaviours. The aim of this study is to evaluate the main motivating agents for adjusting windows, luminaires, and air-conditioning in offices. Two offices were monitored using sensors that collected data from the internal environment and user interaction with such systems. Rainfall and external and internal air temperatures were considered influential for the interaction with window systems. The increase in internal and external temperatures had even more influence on interactions with air-conditioners. The main conclusions were: there is influence of the layout of the offices in the sharing and control of windows and efficiency of passive strategies, such as the use of natural and cross ventilation; and there is an influence of the increase in internal temperature compared to external temperature in the predictability of opening windows and turning air-conditioning devices on.

Keywords: User behaviour. Indoor Environmental Quality. Office buildings.

¹EneDir Ghisi
¹Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - SC - Brasil

²Mateus Bavaresco
²Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - SC - Brasil

³Acácio Gomes Corrêa Silvestre
³Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - SC - Brasil

Recebido em 16/04/23
Aceito em 31/07/23

Introdução

De acordo com a Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL..., 2020), o setor de edificações é responsável por mais de um terço da energia primária consumida mundialmente e, portanto, há emissão proporcional de gás carbônico na atmosfera (NIU *et al.*, 2011; SAIDI; HAMMAMI, 2015). Segundo a mesma agência (INTERNATIONAL..., 2018), o Brasil ocupa o nono lugar no consumo de energia elétrica mundial, aumentando uma posição em comparação ao relatório de 2009.

Sabe-se que a demanda de energia no planeta continua crescendo tanto em países desenvolvidos quanto emergentes, e o setor de edificações é o que representa percentual mais expressivo. No Brasil, cerca de 50% do consumo ocorreu em edificações comerciais, residenciais e do setor público em 2021 (EMPRESA..., 2023). Apesar de relatórios mais recentes da IEA (INTERNATIONAL..., 2020) apontarem redução de emissões de gás carbônico em meios urbanos causada pelas restrições adotadas para conter a atual pandemia de Covid-19, essas mudanças não serão mantidas se medidas de eficiência energética se tornarem obsoletas.

Com esse propósito, é necessário avaliar o consumo de energia, e entender as causas principais desse uso elevado. Conforme Yoshino, Hong e Nord (2017) concluíram, três dentre os principais fatores ligados ao consumo energético em edificações estão relacionados à dimensão humana, a saber: operação da edificação, atividades e comportamento dos usuários, e qualidade ambiental interna. Para os pesquisadores, esses fatores podem influenciar na demanda energética de maneira equivalente ou maior a fatores como clima, envoltória da edificação e características dos sistemas instalados, que são mais estudados. Estudos mais antigos já provavam a influência do comportamento do usuário, podendo afetar mais de 40% do consumo de energia em escritórios (EMERY; KIPPENHAN, 2006; STAATS; VAN LEEUWEN; WIT, 2000).

Diante da grande influência do fator humano no consumo, e a necessidade global em atenuar os impactos ambientais reduzindo o consumo energético, diversas pesquisas vêm sendo apresentadas, avaliando a qualidade do ambiente interno através de elementos de sombreamento (BAVARESCO; GHISI, 2021), iluminância (OUF; GUNAY; O'BRIEN, 2019), velocidade do ar e umidade (HUANG *et al.*, 2013), operação de janelas (D'OCA; HONG, 2014), operação do sistema de iluminação (REINHART; VOSS, 2003), a influência de gênero e idade sobre a percepção da qualidade do ar (CHOI; MOON, 2017), entre outros. Há ainda outras pesquisas que avaliam a ocupação das edificações (DAVIS; NUTTER, 2010; DUARTE; VAN DEN WYMELENBERG; RIEGER, 2013; FENG; YAN; HONG, 2015; TAHMASEBI; MOSTOFI; MAHDAVI, 2015). Por fim, tem-se também o último fator humano apresentado por Yoshino, Hong e Nord (2017): a atividade e comportamento dos usuários, no qual os pesquisadores depararam-se com alguns desafios.

A primeira dificuldade advém de representar o comportamento do usuário, pois sabe-se que há discrepância significativa entre o uso de energia e emissões de carbono estimados na fase de projeto e o uso de energia e emissões de carbono reais de operação (YOSHINO; HONG; NORD, 2017). Pesquisadores do Reino Unido quantificaram o consumo de carbono obtendo em média 2,5 vezes mais emissões reais de carbono em comparação à estimativa do projeto residencial (PALMER *et al.*, 2016). Para edifícios não residenciais, as emissões chegam em média a 3,8 vezes mais (PALMER; TERRY; ARMITAGE, 2016). Segundo Yudelson (2010), as diferenças entre o consumo real de energia e o valor estimado são geralmente maiores que 30%. Outras pesquisas também evidenciam esse fenômeno conhecido como performance gap (BELAFI; HONG; REITH, 2017; YANG; ERGAN; KNOX, 2015; YU *et al.*, 2011). Desse modo, percebe-se que os modelos atuais de simulação computacional de edificações não consideram de maneira realista o comportamento do usuário.

Com o intuito de avaliar o consumo energético de edificações de maneira mais abrangente, a IEA (INTERNATIONAL..., 2013) desenvolveu uma iniciativa de pesquisa colaborativa mundial em eficiência energética em edificações. Entre outros resultados há o Anexo 53 (Annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods) (INTERNATIONAL..., 2016; YOSHINO; HONG; NORD, 2017). Compreender os fatores mais impactantes no uso total de energia em uma edificação é importante tanto para quantificar suas influências quanto para propor melhorias com base no cenário atual. No relatório enfatiza-se a importância de empregar abordagens interdisciplinares para melhor compreender o uso de energia, integrando engenharia, arquitetura, modelagem, simulação computacional, ciências comportamentais e sociais.

Devido à existência do componente humano, conceitos importantes das ciências sociais e comportamentais devem ser considerados. Paulhus (1991) ressalta o viés relacionado ao fenômeno das respostas socialmente desejáveis. McCarney *et al.* (2007) comentam o efeito Hawthorne, que implica uma alteração do comportamento quando os usuários se percebem observados. Ademais, os padrões de comportamento diferem

entre os indivíduos, o que compromete a sua identificação e os parâmetros correspondentes a serem definidos em uma simulação envolvendo usuários (YAN *et al.*, 2017). Sendo assim, os dados coletados em pesquisas estão sujeitos a diversos modelos de comportamento e enviesamento social.

Sabe-se ainda que as pesquisas sobre comportamento de usuários em edificações não são padronizadas (WAGNER; O'BRIEN; DONG, 2017). Por isso, diferentes técnicas de monitoramento são empregadas (como questionários, instalação de sensores, equipamentos baseados em *Internet of Things* (IoT), entre outros), diferentes técnicas de modelagem (como modelo de regressão bayesiana, logística, estocástico de Markov, e demais algoritmos), e ainda diferentes programas de simulação computacional, conforme documentado na revisão de Bavaresco e Ghisi (2021). Dessa forma, cada grupo de pesquisa adota os equipamentos e abordagens condizentes com a realidade do local estudado. Além disso, os autores enfatizaram que a literatura nacional é escassa em comparação à internacional, a qual possui abordagens e resultados mais específicos. Conhecer os principais motivos para os ajustes dos sistemas em edificações de escritório nacionais pode ajudar na formulação de modelos de comportamento mais apropriados para a realidade local, melhorando as práticas de simulação computacional.

Verifica-se, portanto, a necessidade de contornar essas dificuldades, realizando novas investigações sobre as motivações para que os usuários interajam com os sistemas das edificações. Essas informações podem ser obtidas com monitoramentos objetivos realizados em campo, uma vez que avaliações por meio de questionários ou outros métodos subjetivos não são suficientes para avançar a compreensão dos limiares mais comuns para a interação entre os usuários e o ambiente construído. O objetivo deste estudo é avaliar os principais agentes motivadores para o ajuste das janelas, luminárias e aparelhos de ar-condicionado em escritórios. Dentre os agentes motivadores, destaca-se a coleta de dados objetivos de parâmetros relacionados à qualidade do ambiente interno.

Método

Caracterização do local de estudo

O município de Florianópolis localiza-se predominantemente em uma ilha montanhosa alongada no sentido norte-sul que se encontra a extremo leste do estado de Santa Catarina, na região sul do Brasil. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima é definido como subtropical úmido, de subtipo Cfa. Com verões quentes e invernos amenos, o município apresenta as quatro estações do ano bem definidas, temperatura média em julho, mês mais frio do ano, de 16,4°C, e em fevereiro, mês mais quente, de 25,1°C (BRASIL, 2018).

Os escritórios compartilhados serão aqui chamados de E1 e E2. O escritório E1 apresenta ventilação híbrida, que combina a ventilação natural proporcionada pela abertura de seis janelas maxim-ar e quatro janelas corredeças com a ventilação mecânica oferecida por quatro aparelhos de ar-condicionado do tipo *split*. A acessibilidade de duas janelas corredeças, além das mencionadas, ficaram prejudicadas devido à mobília, ou seja, permaneceram fechadas durante o período de análise. As janelas das aberturas em relação à área do piso deste escritório é de, aproximadamente, 20%. O sistema de iluminação artificial é composto por oito luminárias, e cada interruptor é responsável pelo acionamento de duas luminárias (quatro lâmpadas) do sistema. A iluminação natural ainda pode ser controlada por persianas compartilhadas por todas as janelas de uma mesma parede. Contudo, não foram levadas em consideração para análise neste trabalho.

A Figura 1 mostra a orientação nordeste do escritório E1 com detalhe para as janelas e representação do aparelho de ar-condicionado. A Figura 2 apresenta a orientação sudoeste deste escritório com detalhe para as janelas corredeças e janelas não-operáveis por conta de mobília existente. A Figura 3 apresenta a parte central do escritório E1 com detalhe para duas luminárias. O espaço possuía quatorze estações de trabalho durante os monitoramentos realizados. Porém, as taxas de ocupação são variáveis ao longo dos dias, especialmente por se tratar de um laboratório localizado em uma Universidade, e os ocupantes passam parte do tempo realizando atividades acadêmicas em outros espaços.

O escritório E2 também apresenta ventilação híbrida, pois contém duas janelas maxim-ar e um aparelho de ar-condicionado do tipo *split*. O sistema de controle de iluminação artificial é similar ao do escritório E1, apresentando quatro luminárias, acionadas duas a duas. Para este escritório o manuseamento de persianas e acionamento de ar-condicionado não foram apurados. As Figuras 4 e 5 apresentam o escritório E2. Durante os monitoramentos, doze estações de trabalho estavam disponíveis neste escritório.

Figura 1 - Orientação nordeste do escritório E1



Figura 2 - Orientação sudoeste do escritório E1



Figura 3 - Parte central do escritório E1



Figura 4 - Escritório E2 com vista para a janela 1



Figura 5 - Escritório E2 com vista para a janela 2



Nos dois escritórios avaliados, os equipamentos de monitoramentos contínuos foram posicionados em locais estratégicos visando centralizar os pontos de medição em relação aos ocupantes dos espaços e otimizar o número de equipamentos necessários por sala. Apesar de deixá-los afastados das áreas que recebem radiação direta nos horários de maior ocupação, especialmente o sensor de variáveis internas mostrado na Figura 4 pode ter sofrido alguma influência dos equipamentos que o circundam. Ressalta-se que tal estratégia, apesar de acrescentar fontes de incerteza nos dados, é amplamente utilizada em estudos de comportamento de usuário com durações elevadas.

O período de análise do comportamento dos usuários quanto a abertura e fechamento de janelas, acionamento de lâmpadas, aparelhos de ar-condicionado (este apenas no escritório E1) e variáveis ambientais internas ocorreu entre abril de 2019 e julho de 2020. O monitoramento do aparelho de ar-condicionado não foi realizado no escritório E2 porque o modelo utilizado nesta sala era mais antigo e incompatível com o princípio de funcionamento do equipamento de monitoramento disponível. Durante as configurações iniciais do estudo, percebeu-se que os registros de operação do aparelho de ar-condicionado na sala E2 eram imprecisos e, portanto, esse dado não foi coletado. Entretanto, a partir de 16 de março de 2020, poucas interações entre usuários e sistemas foram observadas, devido à paralisação das atividades acadêmicas como medida de contenção da emergente pandemia de Covid-19.

Medição de variáveis externas

A medição de variáveis externas foi realizada por meio de instrumentos da estação meteorológica da UFSC, instalada em uma posição central do *campus*, sem grandes edifícios adjacentes e com proximidade aos escritórios monitorados. Os dados coletados correspondem a chuva, radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa, coletados em intervalos de cinco minutos.

Medição de variáveis internas

Para a medição de variáveis internas foram utilizados dois tipos de sensores (S1 e S2) que coletaram dados em intervalos de quinze minutos. Na parte central do escritório E1, utilizou-se o sensor “HOBO *temperature/relative humidity 3.5% data logger*” (S1) que monitorou a temperatura do ar com precisão de $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa. A faixa de medição da umidade relativa do sensor S1 é de 15 a 95%, com precisão de $\pm 3,5\%$ entre 25 a 85% e $\pm 5,0\%$ para os demais valores. Devido ao tamanho do escritório E1, outros sensores foram dispostos para medição de variáveis internas. Dois sensores foram posicionados em locais estratégicos, um no lado direito, onde as aberturas possuem orientação solar nordeste, e outro no lado esquerdo do Escritório E1, onde as aberturas são orientadas a sudeste.

O sensor utilizado para medição no escritório E2 foi o “HOBO *temperature/relative humidity/light/external data logger*” (S2), que monitorou a temperatura do ar com precisão de $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$, a umidade relativa e a iluminância horizontal no plano de trabalho. Para o escritório E2, outro sensor S2 foi disposto na parede ao lado da porta de entrada com a finalidade de medir a iluminância vertical. A faixa de medição da umidade relativa do sensor S2 é de 5% a 95%, com precisão de $\pm 2,5\%$ entre 10 e 90% e $\pm 5,0\%$ para os demais valores.

As Figuras 6 e 7 apresentam uma planta baixa dos escritórios E1 e E2, respectivamente, com destaque para a localização dos sensores.

Monitoramento de interação usuário-sistema

O comportamento dos usuários em relação à interação com sistemas de janelas, iluminação artificial e aparelhos de ar-condicionado foi monitorado com auxílio de sensores de estado (ligado-desligado, aberto-fechado). Para o monitoramento de operação em janelas foi utilizado o sensor “HOBO *state data logger*” (S3), que utiliza um ímã para detectar quando a janela em estudo está aberta ou fechada por meio do contato entre suas partes. Para o monitoramento de operação em lâmpadas foi utilizado o sensor “HOBO *light on/off data logger*” (S4), e para o acionamento de ar-condicionado, o sensor “HOBO *motor on/off AC field data logger*” (S5).

Ressalta-se que apenas o estado do sistema foi monitorado. Dessa forma, medições de ângulo de abertura de janelas e temperatura de operação do aparelho de ar-condicionado não foram consideradas.

Análise de dados

A fim de avaliar a relação entre o comportamento dos usuários ao ajustar sistemas de janelas, iluminação artificial e aparelhos de ar-condicionado em escritórios e as variáveis ambientais internas e externas ao ambiente, foram realizadas análises estatísticas no *software* Microsoft Excel e suas extensões, a partir de histogramas de frequência, gráficos de linha e barra, correlações, regressões lineares e logísticas.

Figura 6 - Planta baixa do escritório E1 com destaque para a localização dos sensores

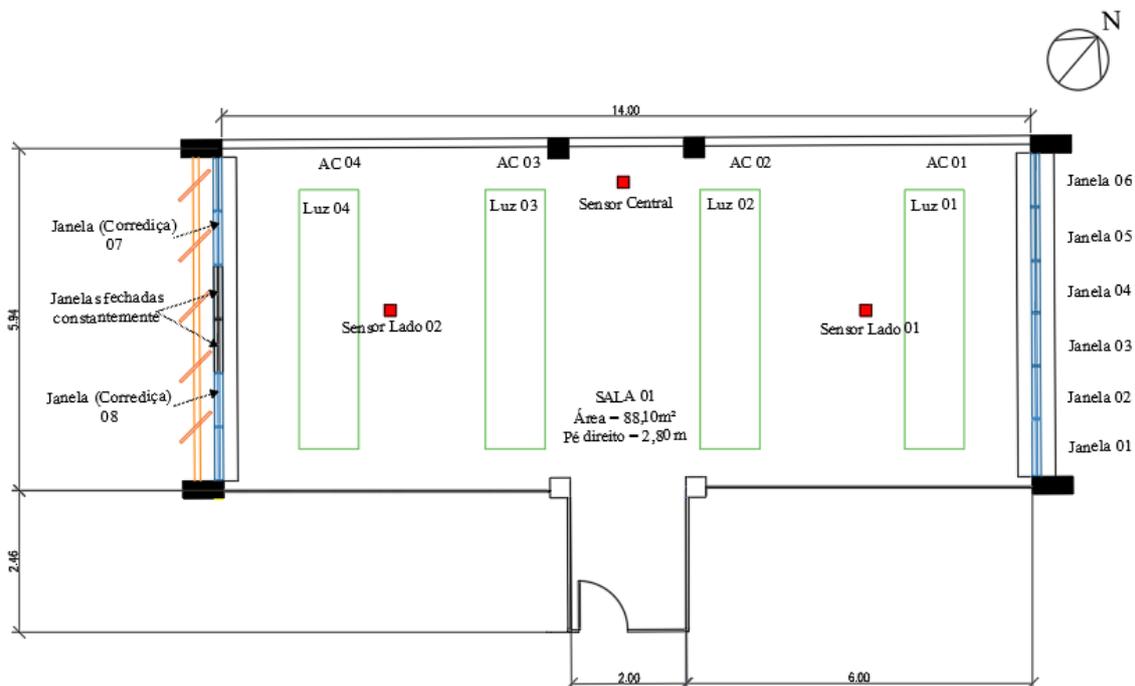
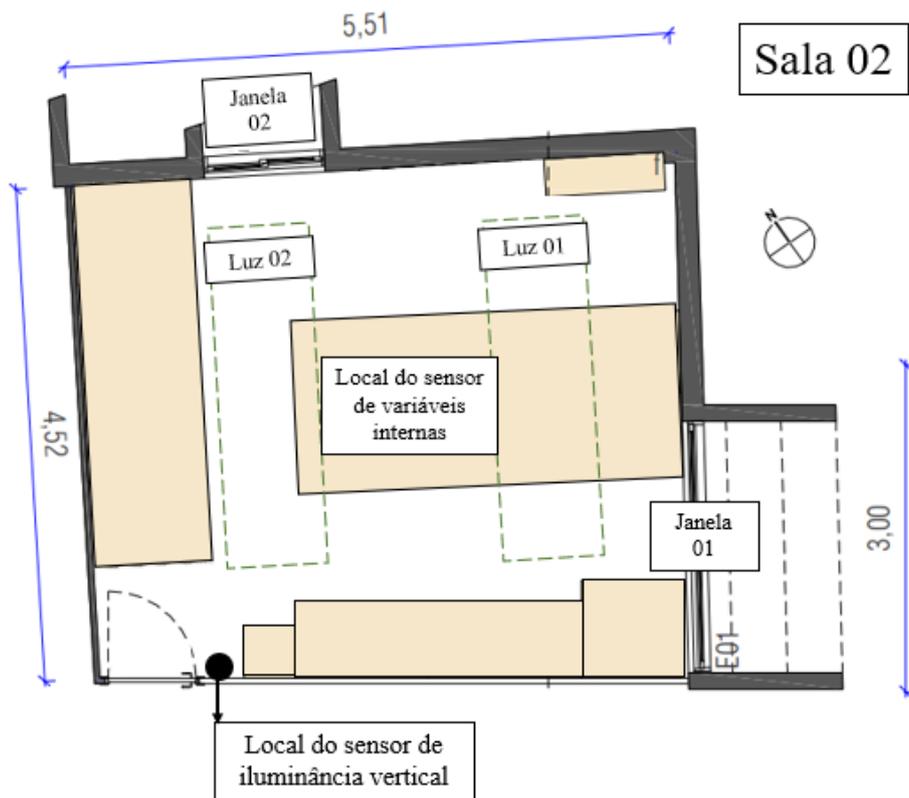


Figura 7 - Planta baixa do escritório E2, com destaque para a localização dos sensores



Os dados coletados por todos os sensores foram agrupados em planilha única para cada escritório no intervalo temporal de cinco minutos, o menor intervalo possível de monitoramento entre os dados. Dessa forma, todas as interações usuário-sistema foram ajustadas para corresponder ao intervalo, bem como os dados das variáveis internas, de monitoramento em quinze minutos, consideradas constantes a cada três períodos de cinco minutos. Os dados de estado dos sistemas foram obtidos entre as interações dos usuários.

Com o auxílio de tabelas dinâmicas e demais estratégias de resumo e análise de dados, foi investigada a relação entre variáveis ambientais e temporais e a interação dos usuários com os sistemas. As regressões lineares foram realizadas com a extensão “Ferramentas de Análise”, disponível no próprio *software*, enquanto as regressões logísticas foram realizadas a partir da extensão “*Real Statistics Resource Pack*” (*XRealStats*), idealizada por Zaiontz (2022), por meio da aplicação de programação “*Virtual Basic for Applications*” (VBA).

Resultados e discussão

Apresentação e caracterização de dados

Foram analisados 104.801 dados coletados da estação meteorológica da UFSC, que mede pluviometria, radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa, em intervalos de cinco minutos, durante um ano.

Para avaliar o impacto da qualidade ambiental interna no comportamento do usuário no escritório E1, foram coletados 38.319 dados de medição de temperatura do ar e umidade relativa em três locais do escritório, e de iluminância horizontal em dois locais do escritório. Os dados coletados para análise ambiental interna do escritório E1 têm intervalo temporal de quinze minutos e correspondem ao período entre abril de 2019 e maio de 2020. Para avaliar a qualidade ambiental interna no escritório E2, 18.919 dados foram coletados. Estes referem-se à medição de temperatura do ar e umidade relativa, iluminância horizontal e vertical, realizadas em intervalos de quinze minutos entre maio e dezembro de 2019.

O comportamento dos usuários foi avaliado por meio da interação com três sistemas: janelas, iluminação artificial e aparelhos de ar-condicionado. No escritório E1 foram coletados 1.688 dados de interação com oito janelas, 2.293 dados de interação com quatro interruptores de lâmpadas e 170 dados de interação com três aparelhos de ar-condicionado. No escritório E2 foram coletados 713 dados de interação com duas janelas e 594 dados de interação com dois interruptores de lâmpadas.

Com o cruzamento de dados para investigação da relação existente entre eles, nem todos os dados de entrada são contemplados devido à diferença do período coletado.

Dados externos ao local de estudo

A Figura 8 apresenta as temperaturas mínimas, médias e máximas do ar externo na região do local de estudo. O ano analisado corresponde a um ano comum comparado às normais climatológicas para o município de Florianópolis. Contudo, janeiro foi ligeiramente mais quente que fevereiro, considerado o mês mais quente do ano no município (BRASIL, 2018). A pluviometria mensal para o ano analisado está apresentada na Figura 9.

Figura 8 - Temperaturas mínimas, médias e máximas do ar externo em Florianópolis no ano de 2019

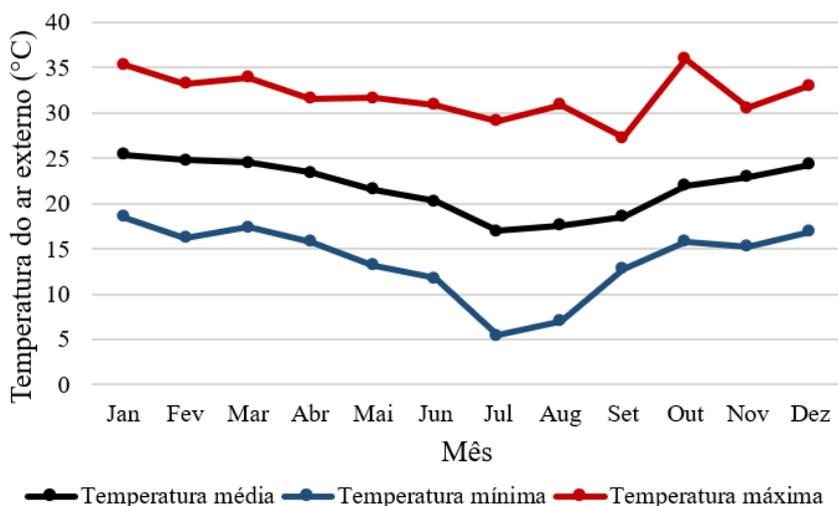
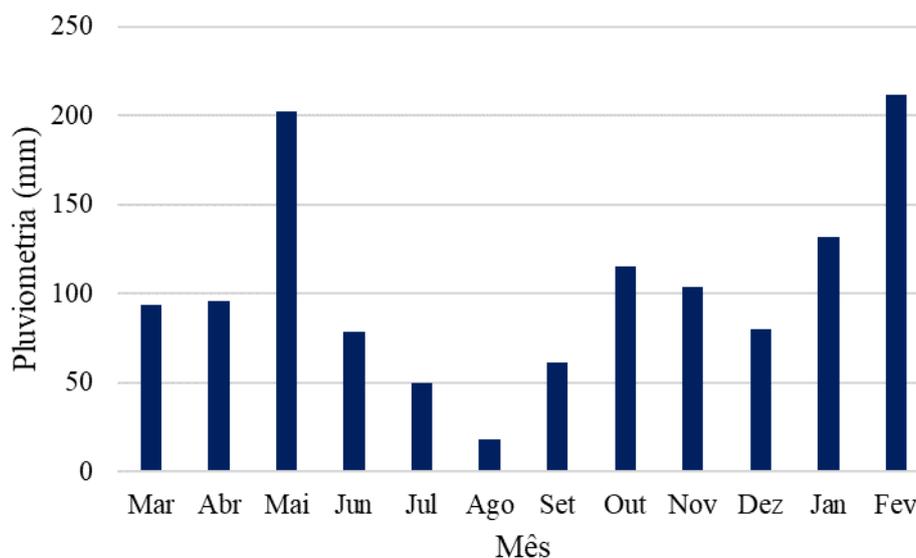


Figura 9 - Pluviometria mensal entre março/2019 e fevereiro/2020 em Florianópolis



Dados internos ao local de estudo

As Figuras 10 e 11 apresentam as temperaturas médias do ar interno em cada mês para os escritórios E1 e E2, respectivamente. No escritório E1 há três sensores que monitoram a temperatura ao passo que no escritório E2 há apenas um sensor com essa função. Por não haver monitoramento dos sensores em alguns períodos, nas Figuras 10 e 11 verificam-se meses em que não são indicadas temperaturas, o mesmo ocorre na Figura 12 quanto à ausência de iluminâncias horizontais, em que os meses posteriores a setembro foram omitidos. Há também durante o período de monitoramento eventuais interrupções do funcionamento dos sensores que mediam variáveis ambientais internas, ou cessação do monitoramento antes do término do mês, problemas comumente observados em avaliações de campo. Por isso, os meses em que não houve monitoramento diário apresentam um asterisco ao lado (Figuras 10 a 13).

A Figura 12 apresenta a iluminância horizontal ao longo dos meses captada por dois sensores no escritório E1, enquanto a Figura 13 apresenta as iluminâncias horizontal e vertical monitoradas no escritório E2.

Figura 10 - Temperaturas médias do ar interno no escritório E1 entre março/2019 e fevereiro/2020 em Florianópolis

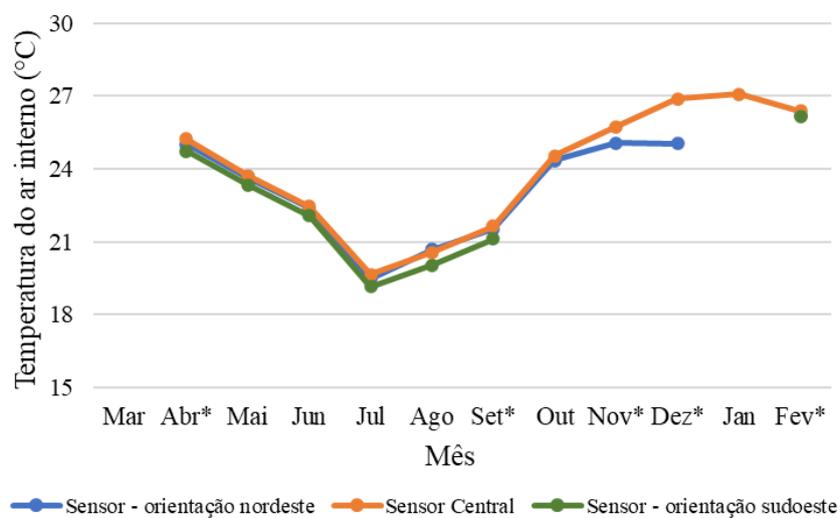


Figura 11 - Temperaturas médias do ar interno no escritório E2 entre março/2019 e fevereiro/2020

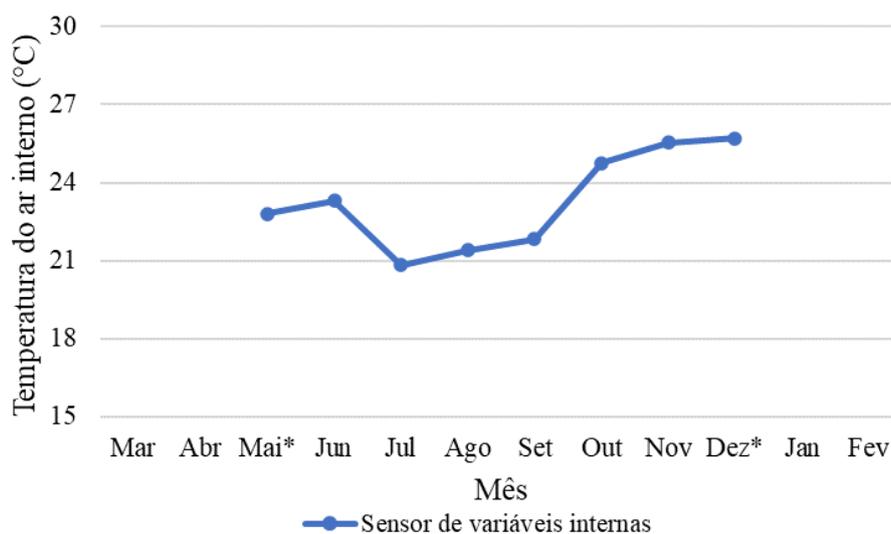


Figura 12 - Iluminâncias horizontais médias no escritório E1 entre abril e setembro de 2019

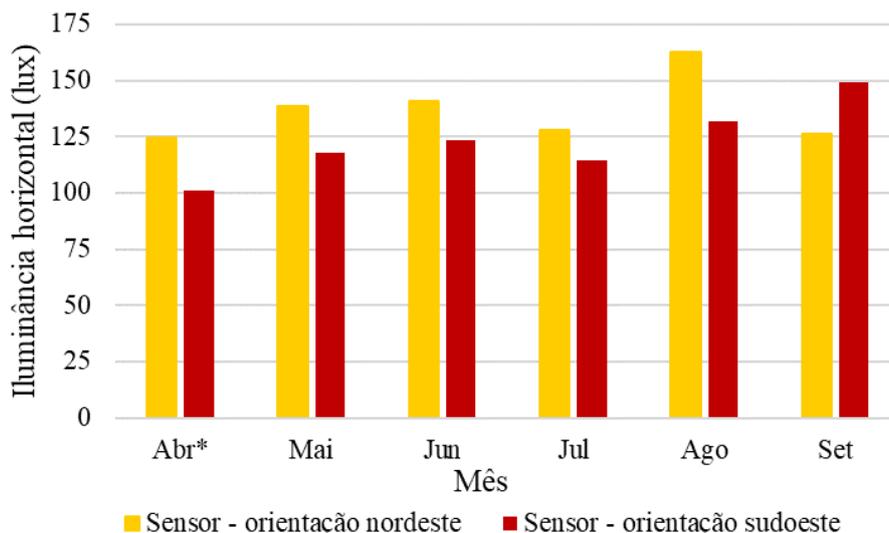
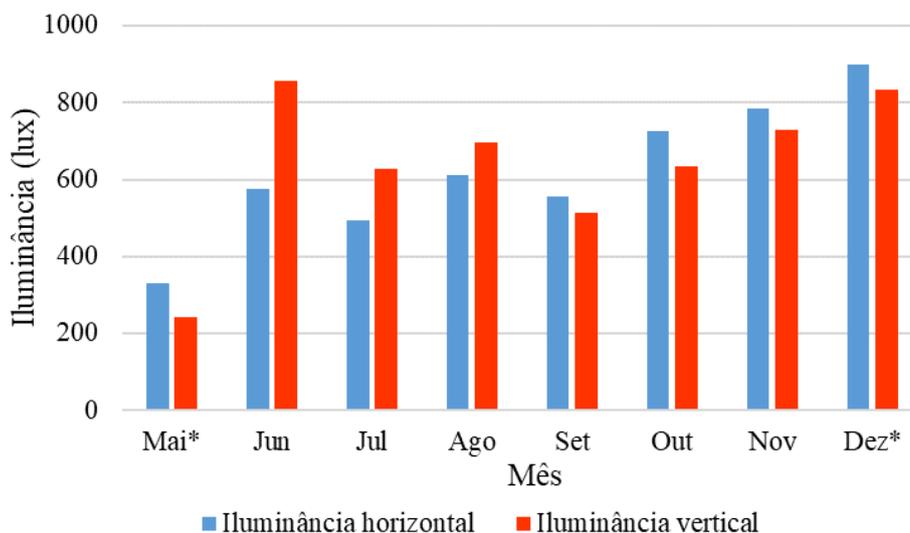


Figura 13 - Iluminâncias horizontais e verticais médias no escritório E2 entre maio e dezembro de 2019



Agentes motivadores da interação do usuário com sistemas de janelas

A Tabela 1 mostra a frequência de abertura e fechamento das janelas pelos usuários, tanto durante o período de chuva quanto quinze minutos antes da precipitação. Não foram encontrados registros de interação com sistemas de janelas acima de 1,17 mm de chuva acumulada em quinze minutos. Como esperado, entre os valores de pluviometria de 0,23 e 1,17 mm houve 50% mais registros de fechamento do que abertura de janelas. Foi percebida maior preferência dos usuários em interagir com sistemas de janelas até quinze minutos antes das chuvas, na ordem de 40%. Neste caso, as interações de abertura e fechamento foram equivalentes.

Observou-se relação entre o horário do dia e interação com sistemas de janelas. As Figuras 14 e 15 representam os números totais de abertura e fechamento das janelas para cada horário do dia, durante o período de monitoramento de sensores nos escritórios E1 e E2, respectivamente. A fim de facilitar a visualização do conteúdo, os dados foram agrupados em intervalos de meia hora. A maior quantidade de interações no escritório E1 é observada no período da manhã, entre 7h30 e 10h30, e no escritório E2 o mesmo pico ocorreu uma hora mais tarde, entre 8h30 e 11h30. A interação com as janelas nesse período foi majoritariamente de abertura. Ao final do dia, outra grande quantidade de interações foi registrada, predominantemente de fechamento das janelas. No escritório E1, o pico foi registrado entre 17h30 e 21h, enquanto no escritório E2,

foi registrado entre 18h30 e 22h30. Como considerado em pesquisas anteriores (HERKEL; KNAPP; PFAFFEROTT, 2008) e observado neste trabalho, a chegada do usuário ao escritório é o momento mais provável de ajustar a janela, seguido de sua partida, pois os horários dos picos correspondem ao início e término das atividades acadêmicas, e, conseqüentemente, de ocupação e desocupação dos escritórios.

Tabela 1 - Frequência de interação com sistemas de janelas no período de chuva

Interação	Concomitante à precipitação		15 minutos antes	
	Escritório E1	Escritório E2	Escritório E1	Escritório E2
Abrir	20	8	37	10
Fechar	30	12	39	12

Figura 14 - Relação entre horário do dia e número total de interações com janelas entre março/2019 e fevereiro/2020 no escritório E1

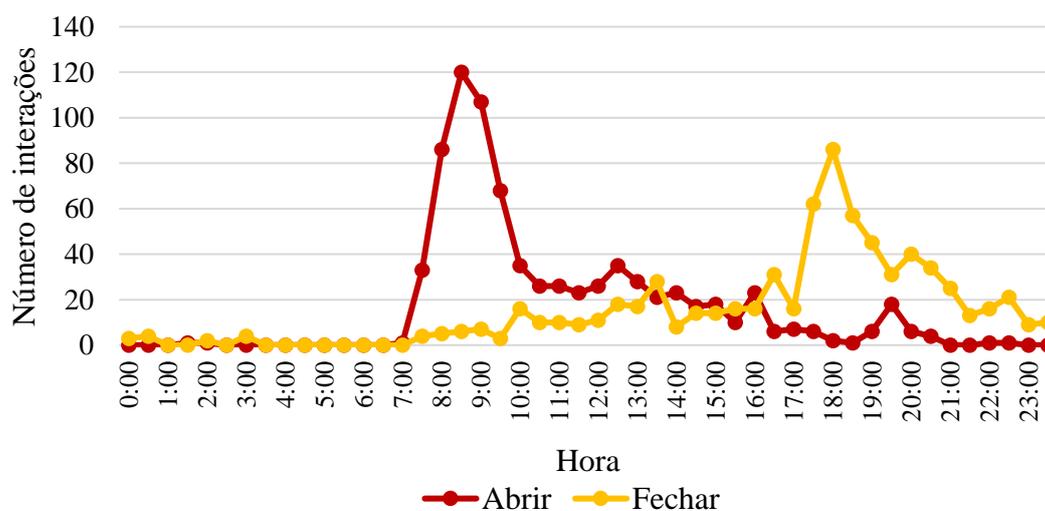
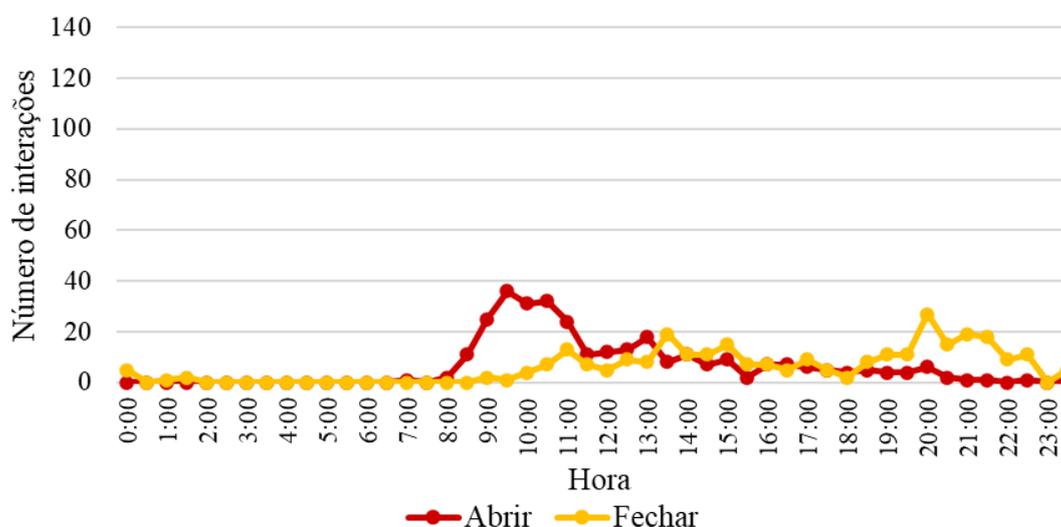


Figura 15 - Relação entre horário do dia e número total de interações com janelas entre maio e dezembro de 2019 no escritório E2



Foram realizadas regressões lineares a fim de encontrar relação entre a interação dos usuários com sistemas de janelas e as temperaturas interna e externa dos escritórios. Devido ao curto período de observação e, portanto, a baixa amostragem de interações com as janelas, uma nova variável foi idealizada como sendo o estado das janelas (aberto e fechado). Dessa forma, pode-se ter o monitoramento do estado das janelas a cada cinco minutos, proporcionando maior amostragem para a análise estatística. A síntese das regressões, como equação, coeficiente de determinação entre variáveis e número da amostragem encontra-se na Tabela 2. Destaca-se que a temperatura interna foi obtida como média aritmética dos sensores operantes no escritório E1, e que todas as regressões foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Apesar das regressões serem estatisticamente significativas, observou-se fraca correlação ($R^2 < 0,4$). Janelas abertas foram observadas, em média, para temperaturas de ar ligeiramente mais elevadas que janelas fechadas, entre $1,3^{\circ}\text{C}$ e $1,7^{\circ}\text{C}$ para a temperatura externa e $0,7^{\circ}\text{C}$ e $1,0^{\circ}\text{C}$ para temperatura interna.

Como as motivações dos usuários são complexas e variadas, não dependendo apenas de fatores ambientais físicos, mas também de demais fatores contextuais, psicológicos, fisiológicos e sociais (FABI *et al.*, 2012), optou-se também em trabalhar com probabilidades. Para isso, regressões logísticas foram realizadas igualmente entre as mesmas relações de estado das janelas e temperaturas interna e externa. As informações das regressões, como equação, coeficiente de determinação, número da amostragem, exponencial do coeficiente b da equação e seu intervalo de confiança encontram-se na Tabela 3. Tal como as regressões lineares, as regressões logísticas foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Nota-se, por meio da razão de chances (Exp. B) e seu intervalo de confiança (Tabela 3 e Figuras 16 e 17), que há entre 7 e 11% a mais de chance de a janela estar aberta em função da temperatura externa e entre 9 e 20% a mais em função da temperatura interna. A influência significativamente maior da temperatura interna em relação à externa (19,8% para 7,5%) na previsibilidade de abertura de janelas pode ser percebida no escritório E2. Este escritório diferencia-se do escritório E1 por possuir menor número de aberturas. No escritório E1 a diferença entre a previsibilidade foi de um ponto percentual.

Constata-se por meio das Figuras 16 e 17, cujas equações encontram-se na Tabela 3, pouca diferença entre a influência do aumento da temperatura interna e a influência do aumento da temperatura externa na abertura da janela pelo usuário do escritório E1. A diferença entre a previsibilidade da temperatura externa sobre a interna é ligeiramente maior em temperaturas mais baixas. Em temperaturas mais elevadas, a influência entre as temperaturas se assemelha.

No escritório E2, porém, a temperatura interna é maior fator de previsibilidade de abertura de janelas que a temperatura externa. A partir da igualdade das equações que regem esse comportamento, verifica-se para este escritório a temperatura de $23,79^{\circ}\text{C}$ como temperatura interna e externa em que a previsibilidade na abertura de janelas é equivalente, ou seja, ambas apresentam 25,58% de chance da janela estar aberta.

Tabela 2 - Dados das regressões lineares entre estado da janela e temperaturas interna e externa

Escritório	Variáveis	Equação	R ²	Amostragem
E1	Jan x Text	$y = 1,773x + 20,912^*$	0,029	532.745
E2	Jan x Text	$y = 1,348x + 21,058$	0,016	157.237
E1	Jan x Tint	$y = 0,745x + 23,270$	0,011	506.635
E2	Jan x Tint	$y = 1,006x + 22,862$	0,030	112.833

Nota: *y é a temperatura média quando as janelas estão fechadas ($x=0$) ou abertas ($x=1$).

Tabela 3 - Dados das regressões logísticas entre estado da janela e temperaturas interna e externa

Escritório	Variáveis	Equação	R ²	Amostragem	Exp (B)	IC de Exp (B)**
E1	Jan x Text	$y = 0,316\ln(x) - 0,754^*$	0,028	532.745	1,1143	[1,1124 - 1,1163]
E2	Jan x Text	$y = 0,247\ln(x) - 0,527$	0,018	157.237	1,0749	[1,0718 - 1,0779]
E1	Jan x Tint	$y = 0,344\ln(x) - 0,884$	0,012	506.635	1,1004	[1,0975 - 1,1032]
E2	Jan x Tint	$y = 0,696\ln(x) - 1,950$	0,032	112.833	1,1980	[1,1906 - 1,2053]

Nota: *y = Probabilidade das janelas estarem abertas ($y=1$) ou fechadas ($y=0$); x = temperatura interna ou externa.

**intervalo de confiança da exponencial do coeficiente B (ou razão de chances - *odds ratio*).

Figura 16 - Probabilidade de abertura da janela em função da temperatura externa

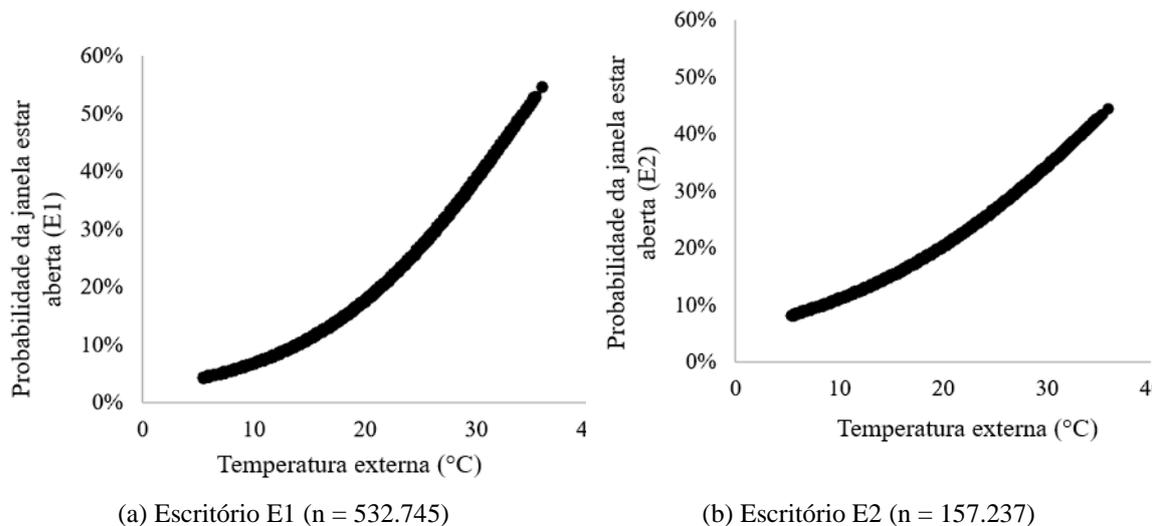
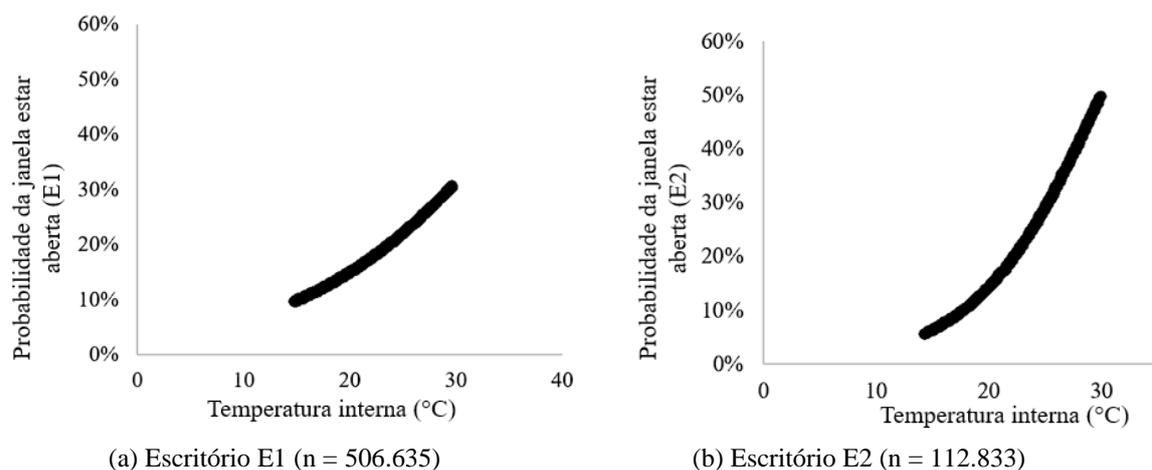


Figura 17 - Probabilidade de abertura da janela em função da temperatura interna



As equações também apresentam como temperaturas que garantem que as janelas permaneçam fechadas as temperaturas externas de 10,9°C e 8,4°C e internas de 13,1°C e 16,5°C, ambas para os escritórios E1 e E2, respectivamente. Um dos fatores contribuintes para as probabilidades da janela estar aberta em função das temperaturas interna e externa não superar 60% de previsibilidade é o uso do aparelho de ar-condicionado, pois os usuários tendem a fechar as janelas durante o uso, que ocorre quando as temperaturas estão mais elevadas.

Sabe-se que há grande variação do uso da janela conforme os usuários e sua posição no escritório (RAJA; NICOL; MCCARTNEY, 1998). Deduz-se também, por esse motivo, que haja variação e preferência de uso de determinadas janelas de um sistema. Por esta razão, procurou-se investigar essa relação e possíveis causas.

As Figuras 18 e 19 apresentam a preferência de abertura de janela nos escritórios E1 e E2, respectivamente. No escritório E1 destacam-se as janelas J2, J4, J5 e J7 como as mais utilizadas. Como menos utilizadas destacam-se as janelas J1, J3, J6 e J8. Localizada na orientação sudoeste do escritório, a janela J7 possui proximidade com um local de convivência, distinto do ambiente de trabalho. Na orientação nordeste do escritório, as janelas J2 e J5 tendem a ser mais compartilhadas pois não há estações de trabalho adjacentes a essas aberturas, como nas demais janelas deste local do escritório.

Observou-se comportamento semelhante no escritório E2. Há maior uso da janela J2 em detrimento da janela J1, pois esta é menos compartilhada devido à proximidade com duas mesas de trabalho, em que sua interação é definida pela preferência dos usuários próximos.

Figura 18 - Preferência de abertura de janela no escritório E1

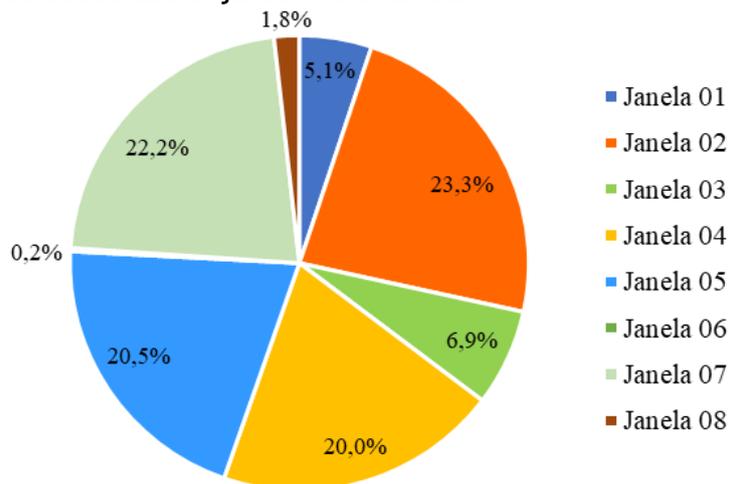
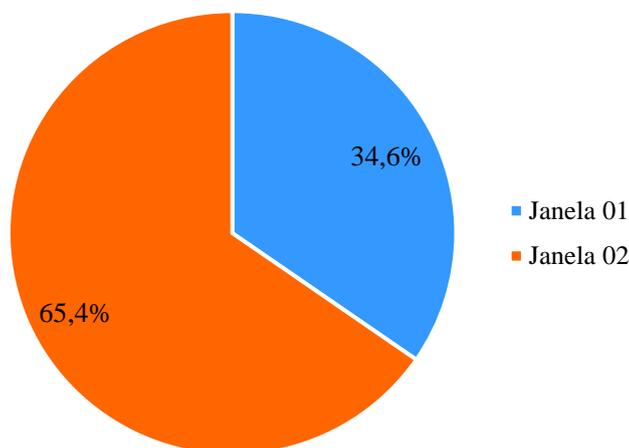


Figura 19 - Preferência de abertura de janela no escritório E2



As variações observadas neste estudo indicam que a configuração do interior dos escritórios (*layout* interno) impacta diretamente a dinâmica de uso de ventilação natural e ventilação cruzada, quando existente. Sempre que possível, recomenda-se que o *layout* interno seja configurado de modo a permitir a interação de todos os usuários com os sistemas adaptativos disponíveis. É importante que esse conhecimento seja considerado por projetistas, especialmente no planejamento de ambientes de trabalho pós-pandemia.

Há ainda uma hipótese, além da preferência do usuário, para a menor interação com as janelas das extremidades da orientação nordeste (J1 e J6) e janela J8 do escritório E1: a presença de persianas, que podem interferir no conforto do usuário quando a janela está aberta e há ocorrência de vento, variável que não foi abordada neste estudo.

Procurou-se também observar padrões em interação com sistemas de janelas, se há uso conjunto em sua abertura e fechamento. Foi analisada a partir do total de interações com cada janela, a porcentagem das outras interações do usuário com as demais janelas, luminárias e aparelhos de ar-condicionado, que eram realizadas associadamente com esta. As Figuras 20 e 21 apresentam a frequência de uso conjunto dos sistemas de janela (J), luz artificial (L) e aparelhos de ar-condicionado (A), em função de cada janela monitorada nos escritórios E1 e E2, respectivamente.

Figura 20 - Frequência de uso conjunto de sistemas de interação em função das janelas no escritório E1 (Continua...)

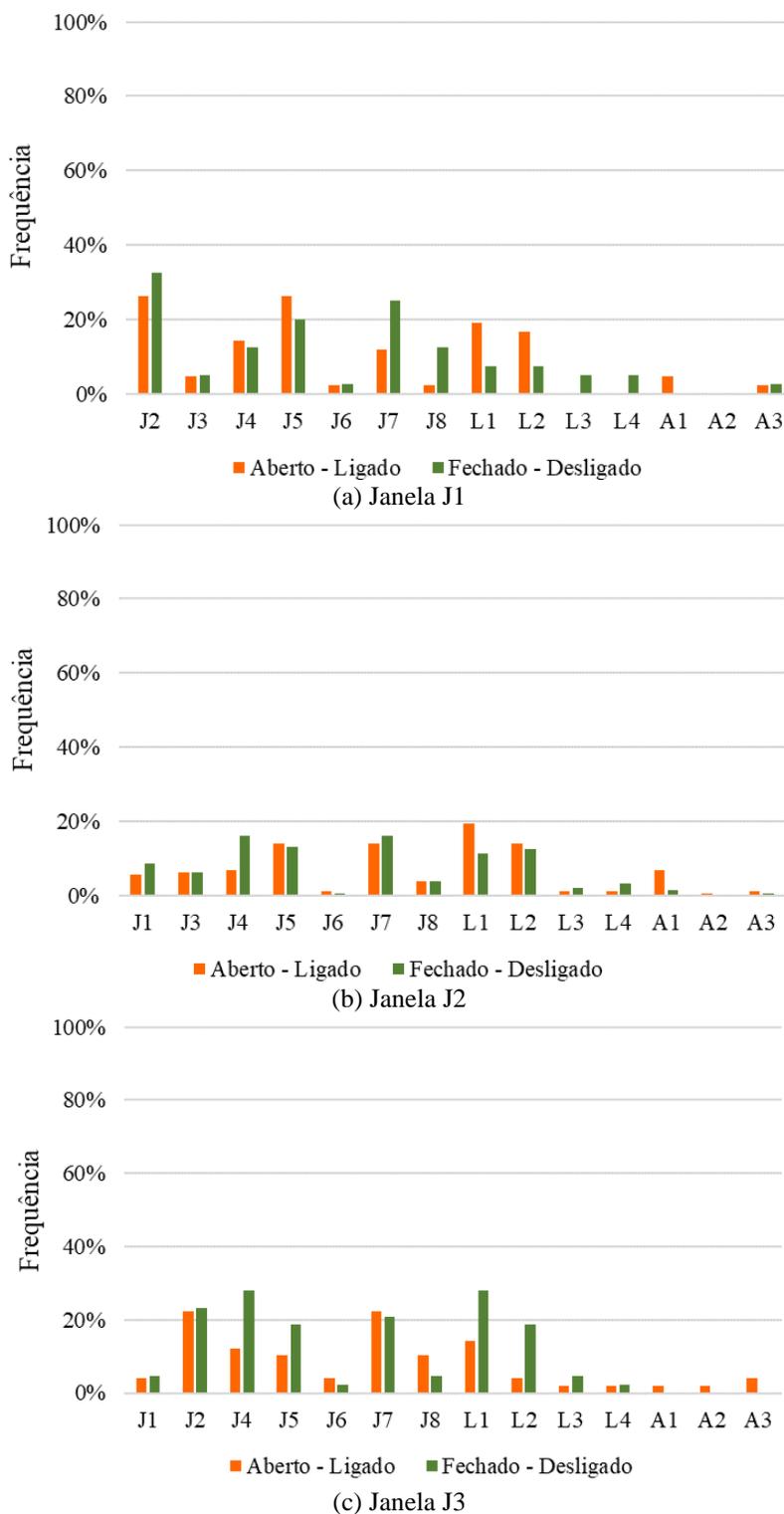


Figura 20 - Frequência de uso conjunto de sistemas de interação em função das janelas no escritório E1 (continuação)

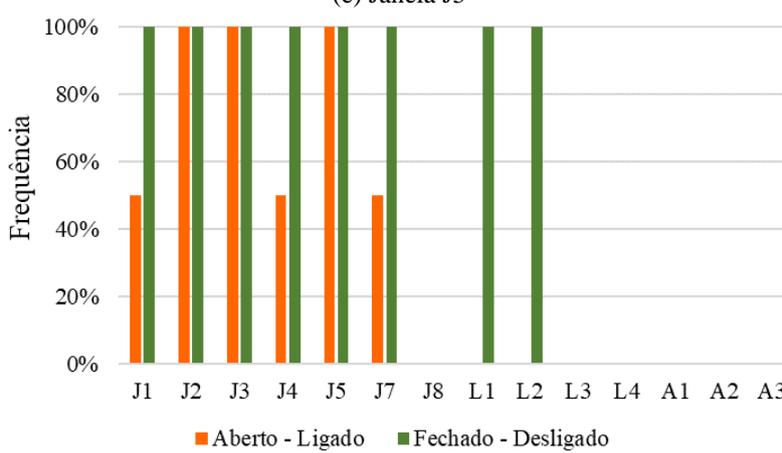
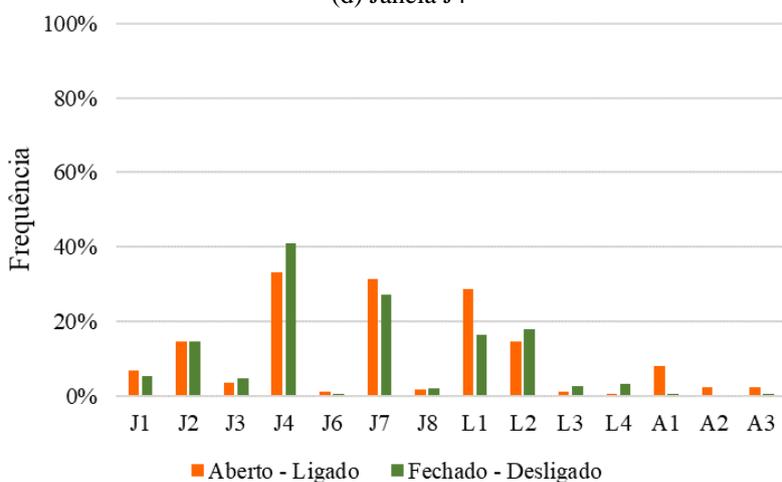
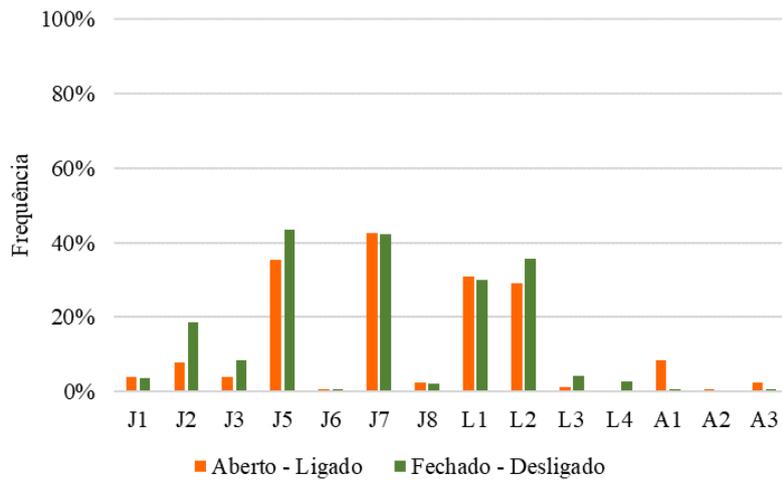


Figura 20 - Frequência de uso conjunto de sistemas de interação em função das janelas no escritório E1 (continuação)

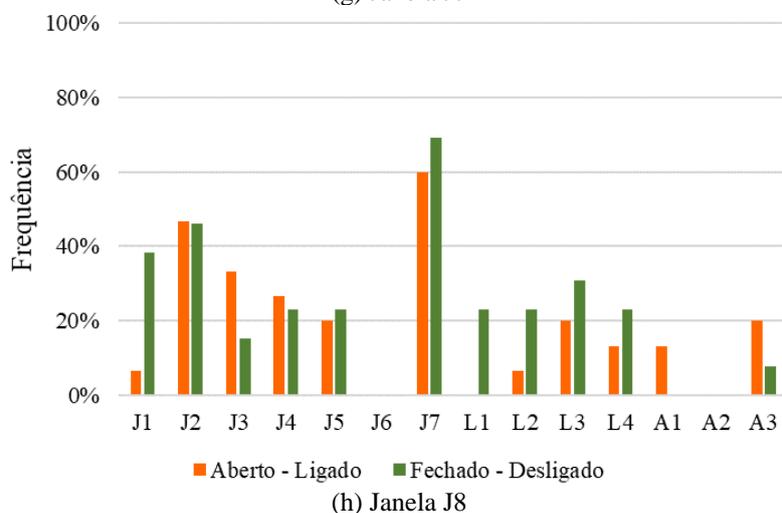
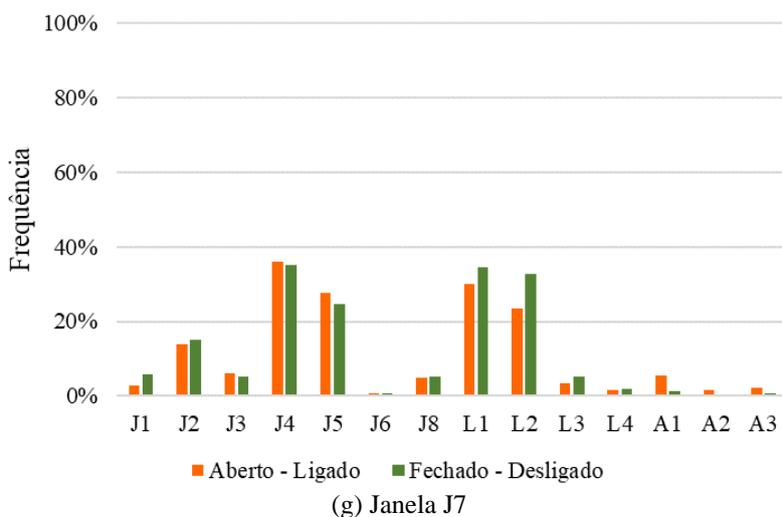
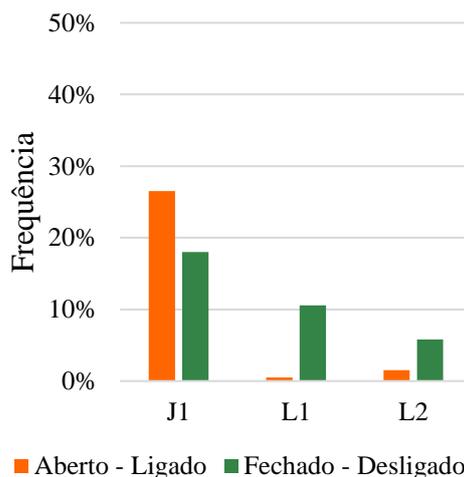
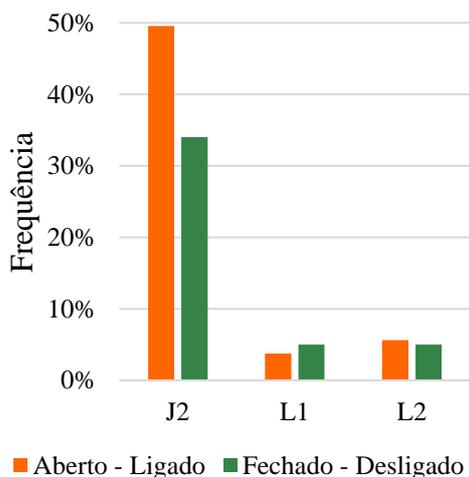


Figura 21 - Frequência de uso conjunto de sistemas de interação em função das janelas no escritório E2



No escritório E1, constata-se dependência total do uso da janela J6 em função de outras janelas. Além da baixa frequência de uso em comparação com outras janelas, só houve interação conjunta, ou seja, a janela só foi aberta ou fechada quando outras janelas estavam sendo abertas ou fechadas também. Outra janela usada predominantemente em conjunto foi a janela J8. Cerca de 70% das ocasiões em que era fechada e 60% das vezes em que fora aberta, a ação foi realizada simultaneamente com a janela J7. Observou-se que a janela J7 foi a mais utilizada dentre as aberturas orientadas a sudoeste no escritório E1. Ressalta-se que esta janela está posicionada em uma área comum do escritório, sem estações de trabalho adjacentes a ela, facilitando o ajuste para todos os usuários.

Foram percebidos padrões de interação conjunta em todas as janelas dos escritórios com outras janelas, e inclusive outros sistemas, como de iluminação artificial e de ar-condicionado. Em nenhuma das janelas, além das mencionadas, a relação passou de 50%.

Agentes motivadores da interação do usuário com sistemas de iluminação artificial

A interação com sistemas de iluminação artificial é influenciada pela ocupação do local de estudo. O momento de entrada e saída dos usuários no ambiente de trabalho é tratado como fator crucial para a interação com o sistema (HUNT, 1979; PIGG; ELIERS; REED, 1996; MANICCIA *et al.*, 1999; MOORE; CARTER; SLATER, 2003; YUN *et al.*, 2012; SILVA; LEAL; ANDERSEN, 2013; GUNAY *et al.*, 2017).

Nos escritórios monitorados neste estudo é possível perceber esse comportamento. Contudo, o comportamento do usuário em sua maneira de relacionar-se com a iluminação diferiu entre os escritórios. As Figuras 22 e 23 apresentam a relação entre horário do dia e acionamento de interruptor de lâmpadas nos escritórios. Os dados foram agrupados em intervalos de meia hora para facilitar a visualização do conteúdo e exibem a totalidade das interações dos usuários com o sistema de iluminação artificial.

O escritório E1 retrata tipicamente um padrão de uso moldado pela ocupação do usuário. Pode-se observar dois picos de interações de acionamento do interruptor: um maior entre 7h e 10h, que corresponde à chegada do usuário ao escritório; e um menor entre 12h e 14h, correspondente à volta do usuário depois do almoço. De modo semelhante, pode-se observar dois picos de interrupção do uso das lâmpadas: um maior entre 17h e 21h, que corresponde à saída definitiva do usuário do escritório; e um menor entre 11h e 13h, que corresponde à saída do usuário para almoço.

No escritório E2 também é possível observar padrões de ocupação. Assim como analisado na relação entre o horário do dia e uso de janelas, há um padrão mais tardio de ocupação e desocupação do escritório em comparação ao primeiro. É notório um pico de interrupção do uso das lâmpadas a partir das 19h30. Também é perceptível um pico de interações de acionamento do interruptor entre 8h30 e 10h30. A informação que se sobressai, contudo, é o aumento no uso de iluminação artificial ao final da tarde. Os usuários tendem a acionar as lâmpadas quando os níveis de iluminação natural se tornam insuficientes.

Figura 22 - Relação entre horário do dia e número total de interações de acionamento de interruptor de lâmpadas no escritório E1 no período monitorado

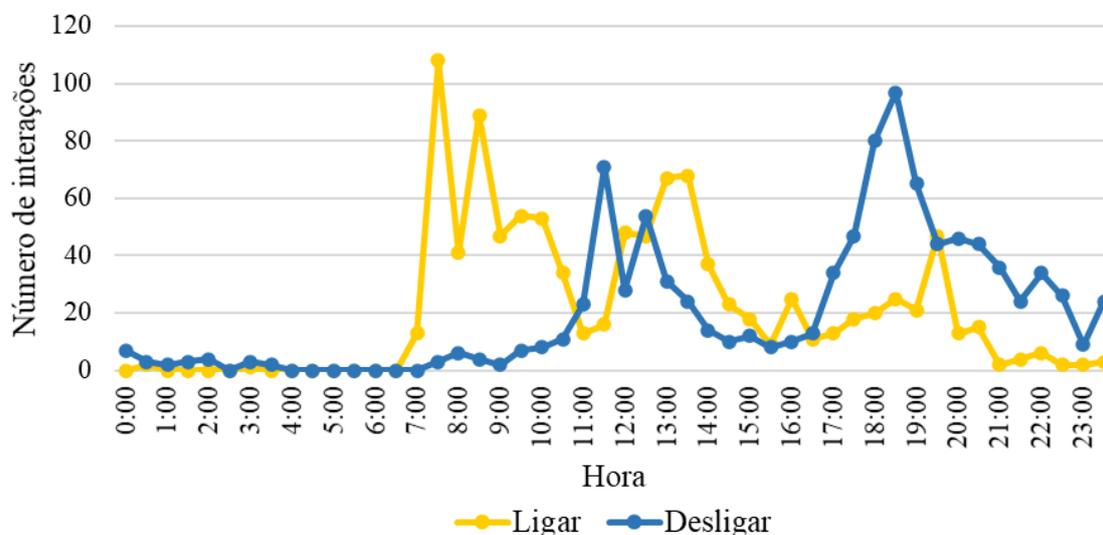
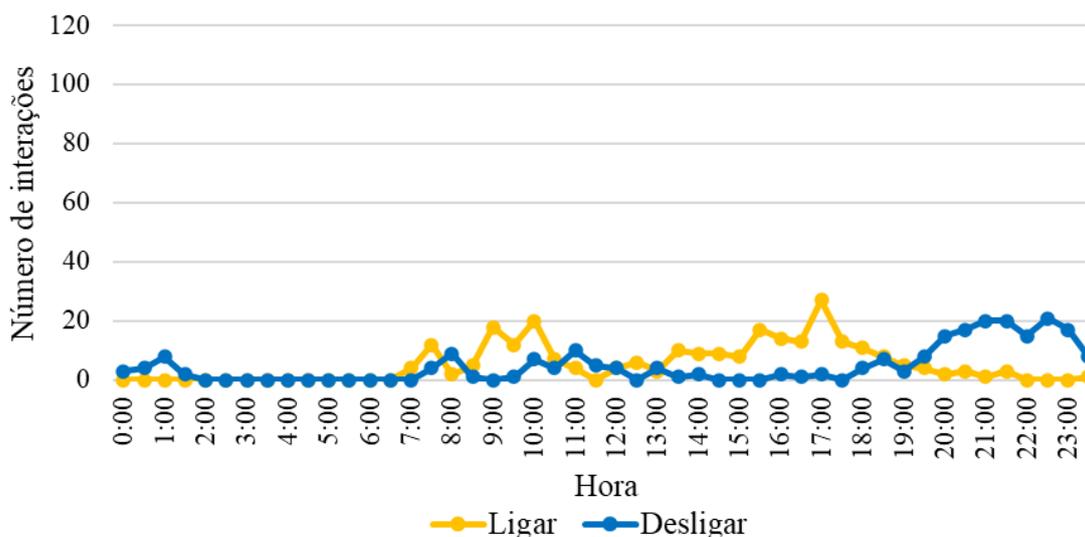


Figura 23 - Relação entre horário do dia e número total de interações de acionamento de interruptor de lâmpadas no escritório E2 no período monitorado



Com a finalidade de medir a relação entre o acionamento das lâmpadas e os níveis de radiação solar e iluminância no plano de trabalho (horizontal) e vertical, foram realizadas regressões lineares entre essas variáveis. Relações significativas foram obtidas entre o estado da luminária (ligado e desligado) e as variáveis interna e externa ao escritório. Além dessa relação, mostrou-se significativo o momento de interação do usuário e a iluminância interna em ambos escritórios, tanto no plano vertical quanto no plano horizontal de trabalho. Os dados das regressões entre o estado da iluminação e interação com lâmpadas e as variáveis mencionadas (radiação solar, iluminância horizontal, iluminância vertical) encontram-se nas Tabelas 4 e 5. Ressalta-se que a operação das persianas não foi monitorada neste estudo, mas esses ajustes têm influência direta nos níveis de iluminância interna e, conseqüentemente, podem ter influenciado os ajustes do sistema de iluminação.

Para a medição da relação entre níveis de iluminância horizontal interna no escritório E1 com as variáveis de interação e estado, foi analisado o sensor mais próximo às lâmpadas acionadas. Dessa forma, a medição de referência do acionamento das lâmpadas L1 e L2 foi coletada do sensor 1, enquanto a medição de referência do acionamento das lâmpadas L3 e L4 foi coletada do sensor 2.

Pode-se notar distinção do comportamento dos usuários entre os escritórios monitorados. A Figura 24 apresenta a porcentagem do tempo analisado em que as lâmpadas permaneceram acesas ou apagadas, incluindo os períodos de não ocupação dos escritórios. Percebe-se maior preferência de uso da iluminação natural no escritório E2 do que no E1, com 9% de diferença.

Esse comportamento pode ser influência de maior fluxo luminoso por área quando as lâmpadas estão apagadas no escritório, em média. No escritório E2, o valor aproxima-se de 400 lux, enquanto no escritório E1, é inferior a 50 lux.

Verificou-se que as regressões entre a interação dos usuários com lâmpadas e a radiação solar não se revelaram significativas ($p > 0,05$); os valores estão destacados em vermelho na Tabela 4. Este fato corrobora com a visão de alguns autores sobre a influência da iluminação externa insuficiente no comportamento do usuário de acionar lâmpadas (LOVE, 1998; MOORE; CARTER; SLATER, 2002, 2003; HERKEL; KNAPP; PFAFFEROTT, 2008; YAO; LI; LIU, 2009; YUN *et al.*, 2012). Por outro lado, a regressão entre os níveis de iluminância interna do escritório e a interação do usuário encontrou correspondência. A distinção do comportamento do usuário entre os escritórios também pode ser percebida nessa relação, onde os usuários do escritório E2 tendiam a acionar as lâmpadas em níveis de iluminância mais elevados que quando as desligavam, e foram mantidas acesas em níveis maiores de iluminância externa também. Comportamentos análogos à preferência por níveis de iluminamento mais altos também foram encontrados na literatura (BEGEMANN; VAN DEN BELD; TENNER, 1997; VINE *et al.*, 1998; NICOL; WILSON; CHIANCARELLA, 2006). Para o escritório E2, o nível de iluminância interna quando os usuários ligavam as lâmpadas diferiu do momento em que desligavam em 185 lux, para o plano de trabalho, e se tornou ainda mais acentuada no plano vertical, em 460 lux. No escritório E1, porém, pode-se perceber um padrão de

comportamento de manutenção ou aumento dos níveis de iluminância pelo usuário, pois as lâmpadas eram mantidas acesas em níveis menores de radiação solar, e acionadas em níveis ligeiramente menores de iluminância interna.

É possível considerar essa diferença de comportamento nos escritórios em função da área do ambiente, da área de janelas operáveis ou inoperáveis, orientação solar das aberturas, e presença de elementos vegetais e demais obstáculos naturais ao redor da edificação (como pode ser percebido na Figura 1 que apresenta o escritório E1). Sabe-se que a vegetação pode interceptar entre 60 e 90% da radiação solar, amenizando a temperatura (OLGYAY, 2015), assim, contribui favoravelmente com o microclima e é benéfica ao conforto do usuário. Contudo, pela mesma razão, pode impactar na influência da iluminância externa sobre a iluminância interna do escritório e, conseqüentemente, no consumo energético com iluminação artificial.

Tabela 4 - Dados das regressões lineares entre a interação dos usuários com sistemas de lâmpadas e variáveis de iluminância

Escritório	Variáveis	Equação	R ²	Valor-P	Amostragem
E1	IL x Rad*	-	-	0,101*	1971
E2	IL x Rad	-	-	0,991	488
E1	IL x IH	$y = -14,5x + 175,0^{**}$	0,004	0,042	1046
E2	IL x IH	$y = 185,4x + 519,3$	0,031	0,001	359
E2	IL x IV	$y = 461,2x + 562,8$	0,031	0,001	359

Nota: *IL = interação com luminárias, Rad = Radiação solar, IH = iluminância horizontal, IV = iluminância vertical.

*são destacados em vermelho os valores-p não significativos ($p > 0,05$).

**y é a iluminância (horizontal ou vertical) quando as lâmpadas são acesas ($x=1$) ou apagadas ($x=0$).

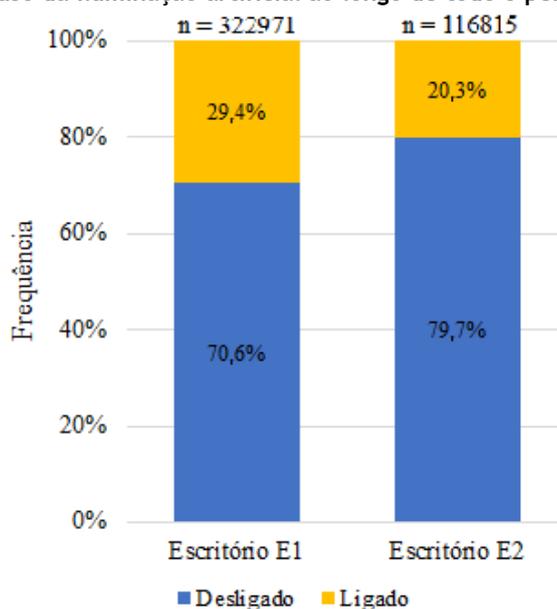
Tabela 5 - Dados das regressões lineares entre o estado da iluminação e variáveis de iluminância e radiação solar

Escritório	Variáveis	Equação	R ²	Valor-P	Amostragem
E1	EI x Rad	$y = -593,4x + 2989,1$	0,003	0	322.971
E2	EI x Rad	$y = 1660,3x + 2473,0$	0,013	0	116.815
E1	EI x IH	$y = 198,0x + 46,8$	0,444	0	178.485
E2	EI x IH	$y = 247,0x + 394,1$	0,031	0	94.250
E2	EI x IV	$y = 199,2x + 439,3$	0,009	0	94.358

Nota: *EI = estado da iluminação, Rad = radiação solar, IH = iluminância horizontal, IV = iluminância vertical.

**y é a iluminância (horizontal ou vertical) ou radiação solar quando as lâmpadas estão acesas ($x=1$) ou apagadas ($x=0$).

Figura 24 - Frequência de uso da iluminação artificial ao longo de todo o período monitorado



Procurou-se observar se há variação e preferência de uso de determinadas luminárias dentro de um sistema e suas possíveis causas. Desde o estudo pioneiro sobre comportamento do usuário em interagir com sistemas de iluminação artificial observou-se na maior parte do tempo o uso de luminárias em sua totalidade (HUNT, 1979). A Figura 25 apresenta a preferência de uso de luminárias. Pode-se perceber menor variação de uso das luminárias do escritório E2; a luminária L2 apresentou 30% a mais de interação em relação à luminária L1. No escritório E1, observou-se maior variação. As luminárias L1 e L2 foram três vezes mais utilizadas do que as luminárias L3 e L4.

Tal fato mostra a relação entre uso da iluminação artificial e ocupação do escritório vista neste trabalho e por outros pesquisadores (LINDELÖF; MOREL, 2006; REINHART; VOSS, 2003; YUN *et al.*, 2012). No escritório E1, a ocupação se concentra na orientação nordeste, onde as luminárias L1 e L2, estão posicionadas. No escritório E2, o maior uso da luminária L2 foi associado ao menor acesso de iluminação natural neste local do escritório em comparação com outras estações de trabalho, que estão posicionadas entre as janelas.

Ressalta-se a importância de garantir controle independente de luminárias, pois a tendência de maior utilização de determinadas lâmpadas do sistema devido à ocupação parcial, iluminação natural ou preferência do usuário não seria verificada caso existisse apenas um interruptor para controle total da iluminação do escritório. Além disso, o controle independente de luminárias ocasiona redução no consumo energético do ambiente, pois as lâmpadas, apesar de haver grande uso conjunto entre determinadas luminárias, não seriam sempre utilizadas em sua totalidade, como observado neste estudo.

As Figuras 26 e 27 apresentam a frequência de uso conjunto dos sistemas de janela, luz artificial e aparelhos de ar-condicionado, em função de cada luminária nos escritórios E1 e E2, respectivamente. Distingue-se novamente o comportamento dos usuários entre os escritórios. No local de maior ocupação do escritório E1, as luminárias são utilizadas na maior parte do tempo em conjunto, enquanto o acionamento associado das luminárias no escritório E2 não ultrapassa 25%. Este comportamento revela a preferência dos usuários desse escritório em utilizar na maior parte do tempo apenas uma luminária, e configura maior eficiência energética em comparação ao outro local de trabalho.

Figura 25 - Preferência de uso de luminárias

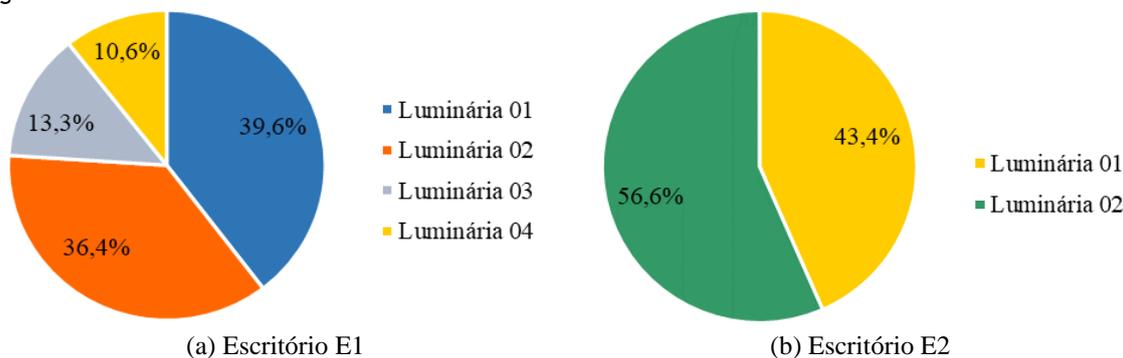


Figura 26 - Frequência de uso conjunto de sistemas de interação em função das luminárias no escritório E1 (Continua...)

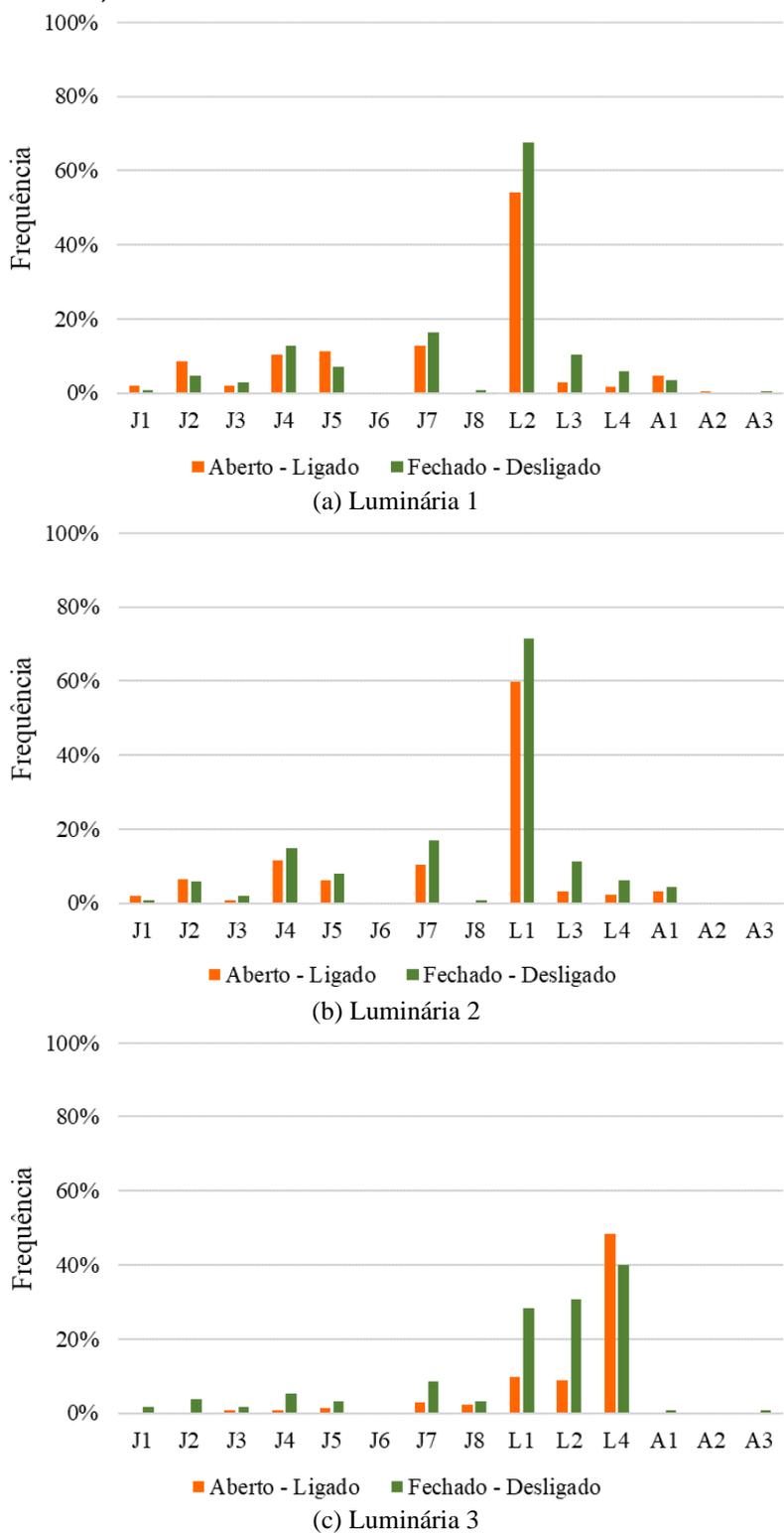


Figura 26 - Frequência de uso conjunto de sistemas de interação em função das luminárias no escritório E1 (continuação)

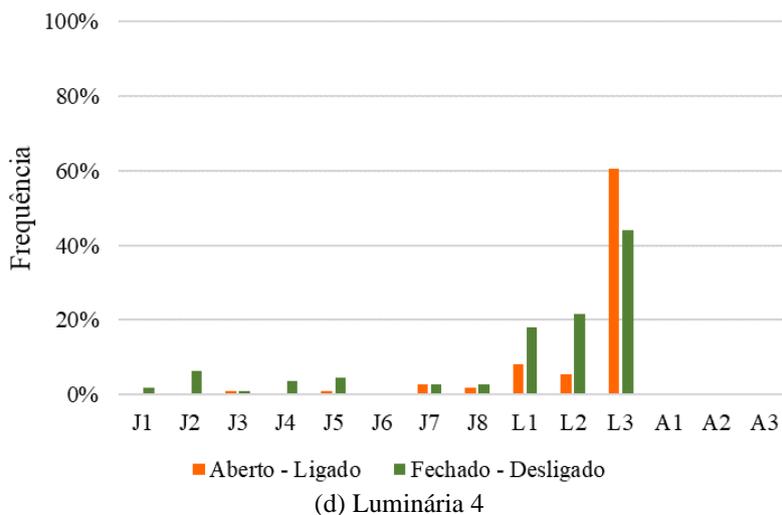
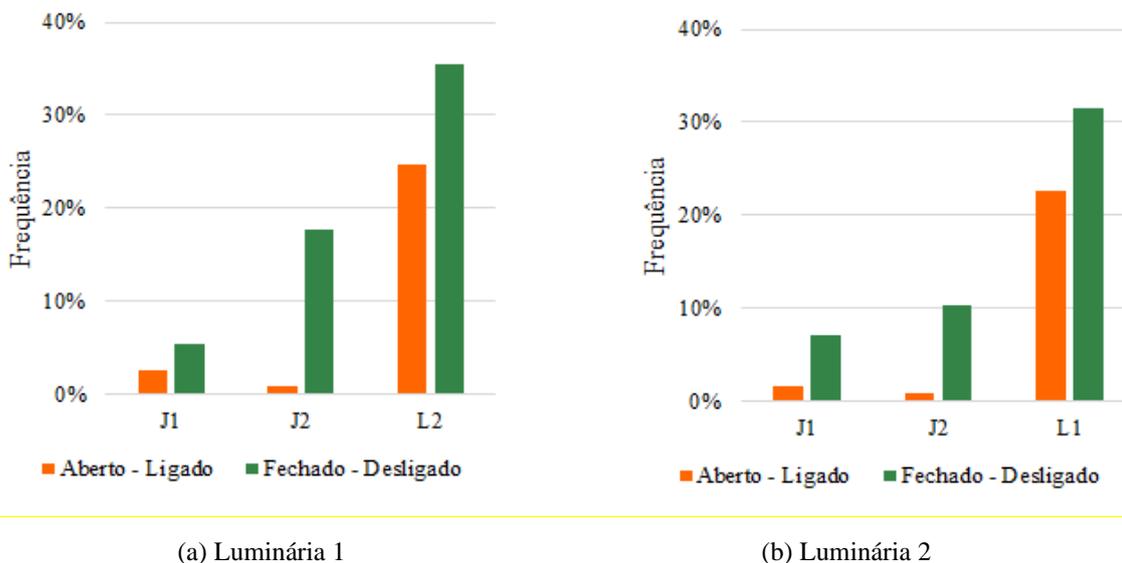


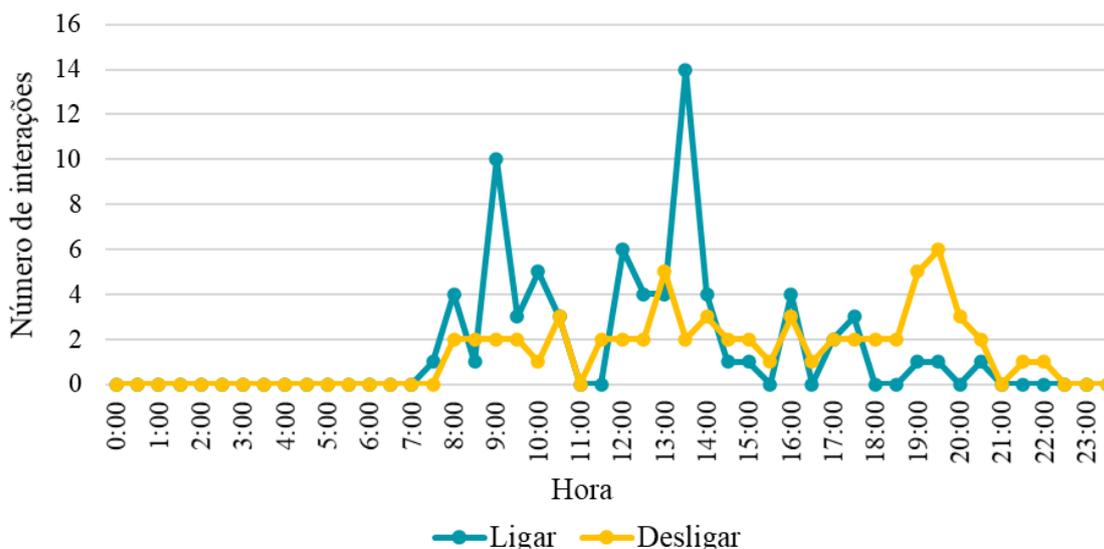
Figura 27 - Frequência de uso conjunto de sistemas de interação em função das luminárias no escritório E2



Agentes motivadores da interação do usuário com sistemas de ar-condicionado

Observou-se relação entre o horário do dia e interação com aparelhos de ar-condicionado. A Figura 28 apresenta o número de acionamentos e interrupções no uso de aparelhos de ar-condicionado no escritório E1, o único escritório cujo sistema de ar-condicionado foi monitorado. Os dados foram agrupados em intervalos de meia hora. Percebe-se que há maior número de acionamentos de aparelhos em dois períodos. No período da manhã, o uso do ar-condicionado não é realizado quando o usuário chega ao escritório, pois verificou-se ocupação anterior através do acionamento dos sistemas de iluminação e janelas. No período da tarde, seu uso é mais relacionado com a ocupação, pois com a volta dos usuários ao local após o período de almoço, há maior tendência em acionar o aparelho de ar-condicionado, sendo o horário em que se observa maiores interações. Apesar da identificação de um pico de interrupção no uso do aparelho no começo da noite, esta interação é bem distribuída ao longo do dia, que pode indicar comportamento do usuário em desligar o aparelho ao considerar que as condições externas garantem conforto térmico, consciência energética ou outros fatores a serem observados.

Figura 28 - Relação entre horário do dia e número total de interações com aparelhos de ar-condicionado entre março/2019 e fevereiro/2020 no escritório E1



A literatura apresenta como o maior agente motivador do uso do sistema de ar-condicionado a temperatura. Os dados relacionados com esta regressão encontram-se na Tabela 6. Como esperado, os usuários tendem a acionar os aparelhos em temperaturas mais elevadas de que quando os desligam. Esta relação foi observada tanto em função da temperatura interna, quanto da temperatura externa ao escritório. A temperatura de ajuste do conforto térmico pelos usuários através da refrigeração foi observada, em média, 27,3°C para a temperatura externa e 26,6°C para a temperatura interna.

Com a intenção de avaliar qual temperatura tem mais influência no acionamento do aparelho de ar-condicionado através de suas probabilidades, regressões logísticas foram realizadas com as mesmas relações entre interação com o sistema e temperaturas interna e externa. Os resultados encontram-se na Tabela 7.

Através da razão de chances (Exp. B), conclui-se que há maior relação entre a procura por refrigeração do ambiente e o aumento das temperaturas interna e externa. Observa-se também dentre os sistemas analisados, ser este o que apresentou maior chance de acionamento com o aumento da temperatura. As chances de o usuário acionar o aparelho de ar-condicionado aumentam em 25% conforme o aumento da temperatura externa, valor que se aproxima de 83% de acordo com o aumento da temperatura interna. A maior influência do aumento da temperatura interna em relação à mesma variação da temperatura externa no acionamento do aparelho de ar-condicionado pode ser constatada na Figura 29. Constata-se também por meio da Figura 29, cujas equações encontram-se na Tabela 7, grande influência do aumento de ambas as temperaturas – interna e externa – sobre a decisão do usuário acionar o aparelho de ar-condicionado. A partir da temperatura interna de 25,8°C e externa de 25,9°C há maior chance do aparelho estar ligado do que desligado (superando 50% de previsibilidade), cujas médias foram observadas em 27,3°C para a temperatura externa e 26,6°C para a temperatura interna.

As equações ainda apresentam temperaturas que garantem que os aparelhos de ar-condicionado estarão ligados ou desligados. Se a temperatura externa for menor ou igual a 17,6°C ou a temperatura interna for menor ou igual a 22,4°C tem-se a certeza de que os aparelhos estarão desligados. Contudo, havendo ocupação do ambiente, e se a temperatura externa for maior ou igual a 37,8°C ou a temperatura interna for maior ou igual a 29,9°C, tem-se a certeza de que os aparelhos de ar-condicionado estarão ligados.

A Figura 30 apresenta a preferência de uso de aparelhos de ar-condicionado por meio da porcentagem de uso de cada aparelho em relação ao total do sistema e a Figura 31 apresenta a frequência de uso conjunto de sistemas em função de aparelhos de ar-condicionado no escritório. Percebe-se maior uso do aparelho AC1, por estar no local do escritório em que há maior ocupação. Análise semelhante foi realizada em relação ao acionamento das luminárias.

Observou-se também uso conjunto entre os aparelhos de ar-condicionado, em especial o aparelho AC2 que foi acionado junto com o AC1 em 40% das vezes. No entanto, houve prevalência do uso de apenas um aparelho de ar-condicionado na maioria das vezes em que os usuários procuravam refrigerar o ambiente, apresentando

redução do consumo energético em relação ao uso conjunto. Outra observação esperada de uso conjunto entre os sistemas é o fechamento das janelas ao acionar o aparelho de ar-condicionado, que foi constatado especialmente nas janelas J2, J4, J5, e J7, pois são as que mais se interagem comparado ao uso total do sistema.

Tabela 6 - Dados das regressões lineares entre a interação com aparelhos de ar-condicionado e temperatura

Variáveis	Equação	R ²	Valor-P	Amostragem
AC x Text	$y = 1,33x + 25,97^*$	0,068	0,002	136
AC x Tint	$y = 0,79x + 25,78$	0,106	0,000	127

Nota: *y é a temperatura média (externa ou interna) em que os aparelhos de ar-condicionado (AC) são ligados (x=1) ou desligados (x=0).

Tabela 7 - Dados das regressões logísticas entre temperatura e interação com aparelhos de ar-condicionado

Variáveis	Equação	R ²	Valor-P	Amostragem	Exp (B)	IC de Exp (B)**
AC x Text	$y = 1,312\ln(x) - 3,765^*$	0,0658	0,002	136	1,2508	[1,0768 - 1,4529]
AC x Tint	$y = 3,434\ln(x) - 10,677$	0,1024	0,000	127	1,8278	[1,3020 - 2,5660]

Nota: *y = Probabilidade do aparelho de ar-condicionado estar ligado (y=1) ou desligado (y=0); e x = temperatura interna ou externa.

**intervalo de confiança da exponencial do coeficiente B (ou razão de chances - odds ratio).

Figura 29 - Probabilidade de acionamento de aparelhos de ar-condicionado conforme as temperaturas externa e interna no escritório E1

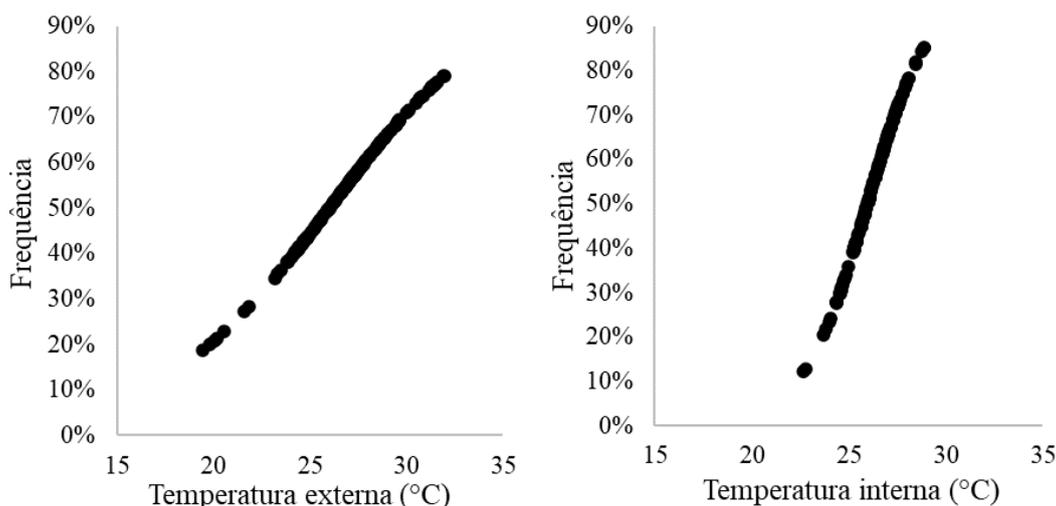


Figura 30 - Preferência de uso de aparelhos de ar-condicionado no escritório E1

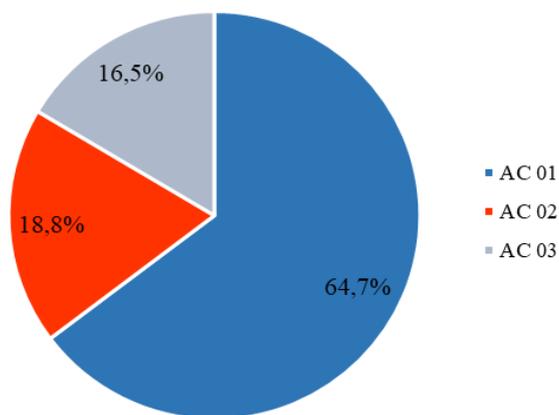
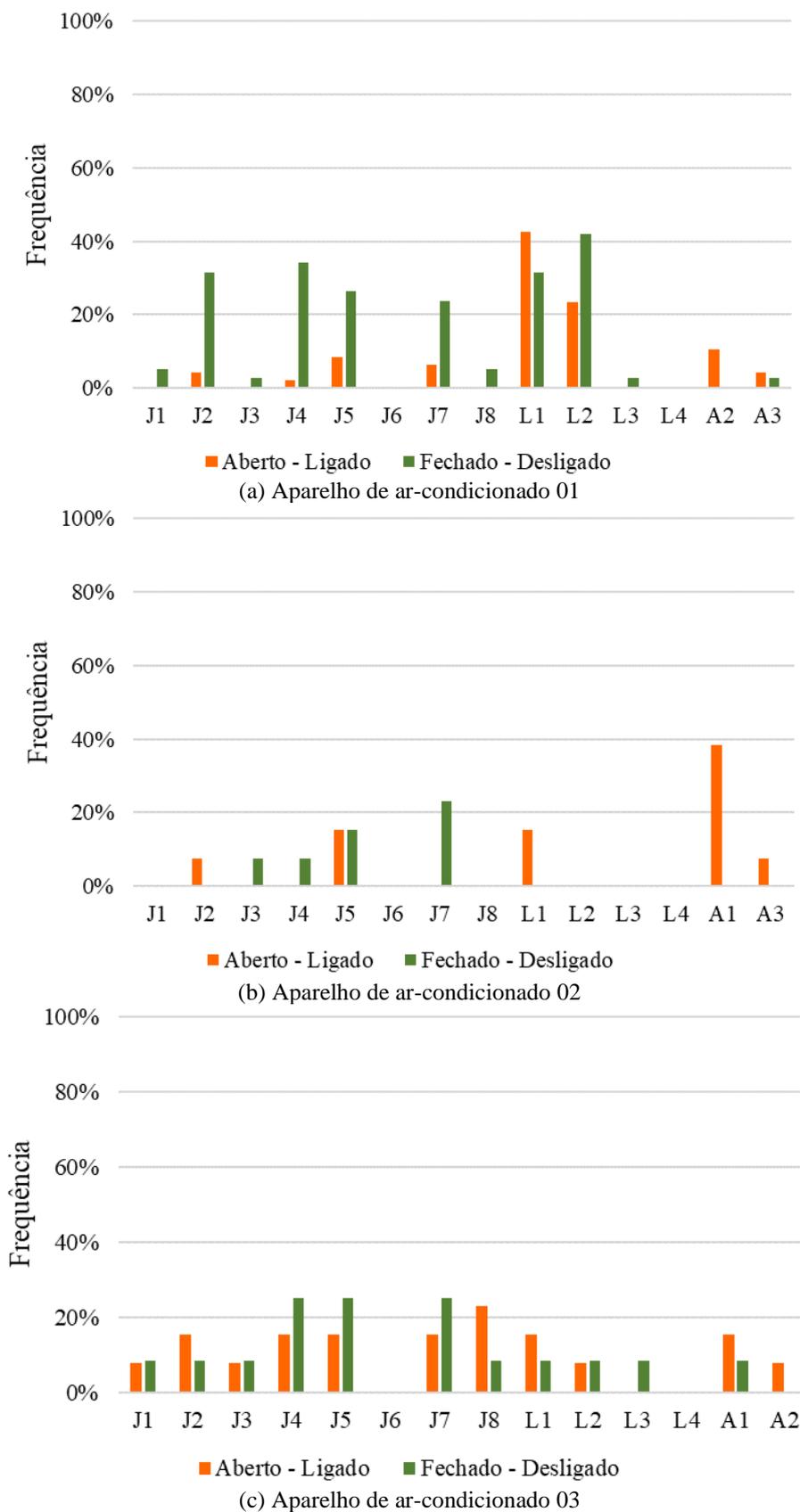


Figura 31 - Frequência de uso conjunto de sistemas de interação em função de aparelhos de ar-condicionado no escritório E1



Limitações e sugestões para trabalhos futuros

O presente estudo possui algumas limitações em relação à coleta e análise de dados. Inicialmente, é importante ressaltar que o estudo de caso foi realizado em dois escritórios compartilhados, e mais avaliações de campo são necessárias para que os resultados possam ser generalizados para populações maiores. Entretanto, a realização de avaliações com amostras maiores demanda grande quantidade de equipamentos, o que pode inviabilizar avaliações objetivas no contexto nacional. Outra limitação deste estudo é a ausência de monitoramentos da operação das persianas nos escritórios; estes ajustes tendem a impactar as condições internas, tais como a iluminância, que se mostraram impactantes nos ajustes do sistema de iluminação artificial. De modo similar, também se destaca a ausência de monitoramentos da ocupação dos escritórios, tanto em termos de identificar os horários em que os ambientes estão ocupados quanto em relação à quantificação do número de ocupantes. Além disso, a estratégia adotada quanto à distribuição dos sensores na sala pode ter deixado alguns em proximidade a fontes de calor, impactando os dados coletados. Estudos futuros podem se basear em normativas internacionais que tratam da avaliação de condições internas em ambientes construídos para posicionar os sensores nos ambientes. Neste caso, vale ressaltar que mais parâmetros devem ser monitorados, especialmente se houver a intenção de aplicar modelos específicos de conforto humano. Por fim, o impacto da umidade no comportamento dos usuários não foi quantificado no presente estudo, mas avaliações de conforto térmico destacam a influência desse parâmetro nas percepções dos usuários. Como consequência das limitações deste estudo, trabalhos futuros podem se aprofundar nos tópicos faltantes nesta análise para garantir avanços à área. Destaca-se, também, a importância de inserir os valores objetivos encontrados como limiares para a operação dos sistemas em estudos de simulação computacional.

Conclusões

Neste artigo, foram avaliadas as relações entre o comportamento dos usuários e variáveis ambientais internas e externas em dois ambientes de escritório localizados na Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis. As seguintes conclusões foram obtidas considerando-se os ajustes de janelas, sistema de iluminação artificial e aparelhos de ar-condicionado:

- (a) foram conclusivas como variáveis que influenciaram os usuários no ajuste de janelas nos escritórios a ocupação, a pluviometria, o *layout* interno e as temperaturas interna e externa. O momento mais provável de ajuste de janelas é a chegada do usuário ao escritório, no qual há abertura de janelas, seguido de sua partida (fechamento). A pluviometria fazia com que os usuários fechassem as janelas, com preferência de antecipação do ajuste em até quinze minutos antes das chuvas, na ordem de 40%. A configuração do *layout* interno como presença de obstáculos ou proximidade do sistema com mesas de trabalho impactou no menor uso de janelas. As temperaturas do ar externa e interna mostraram-se relevantes no ajuste do sistema. Há entre 7% e 11% a mais de chance de a janela estar aberta em função da temperatura externa e entre 9% e 20% a mais em função da temperatura interna;
- (b) as variáveis que influenciaram os usuários no ajuste de luminárias foram a ocupação e níveis de iluminação. No escritório E1, o maior número de interações com o sistema foi observado na chegada e saída do usuário, retratando tipicamente um padrão de uso moldado pela ocupação do ambiente. No escritório E2, o padrão de ocupação também foi observado, mas o maior número de interações ocorreu no final da tarde. Outro fator que contribuiu para redução no consumo energético (menor uso de iluminação artificial) é a promoção do controle independente de luminárias, pois há maior utilização de determinadas lâmpadas do sistema devido à ocupação parcial do escritório, menor iluminação natural no local ou preferência do usuário; e
- (c) por fim, as variáveis que influenciaram os usuários no ajuste de aparelhos de ar-condicionado foram a ocupação e o aumento das temperaturas interna e externa. O horário de maior acionamento ocorreu quando os usuários voltavam do almoço e depois de algumas horas de ocupação do escritório durante a manhã. As médias de temperatura em que o sistema de refrigeração foi acionado foram 27,3°C para a temperatura externa e 26,6°C para a temperatura interna. As temperaturas típicas de acionamento dos aparelhos de ar-condicionado subsidiam estudos nacionais que envolvem simulação computacional de edificações. Destaca-se que utilizar o *setpoint* típico (24°C) como limiar para o acionamento do condicionamento artificial pode superestimar as horas esperadas de uso de climatização ao longo do ano.

Referências

- BAVARESCO, M. V.; GHISI, E. Monitoramento e modelagem da operação de elementos internos de sombreamento em escritórios: uma revisão de literatura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre v. 21, n. 1, p. 315–334, jan./mar. 2021.
- BEGEMANN, S.; VAN DEN BELD, G.; TENNER, A. Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 20, n. 3, p. 231–239, 1997.
- BELAFI, Z.; HONG, T.; REITH, A. Smart building management vs. intuitive human control: lessons learnt from an office building in Hungary. **Building Simulation**, v. 10, n. 6, p. 811–828, 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1981-2010)**. Brasília, 2018.
- CHOI, J. H.; MOON, J. Impacts of human and spatial factors on user satisfaction in office environments. **Building and Environment**, v. 114, p. 23–35, 2017.
- D’OCA, S.; HONG, T. A data-mining approach to discover patterns of window opening and closing behavior in offices. **Building and Environment**, v. 82, p. 726–739, 2014.
- DAVIS, J. A.; NUTTER, D. W. Occupancy diversity factors for common university building types. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 9, p. 1543–1551, 2010.
- DUARTE, C.; VAN DEN WYMELENBERG, K.; RIEGER, C. Revealing occupancy patterns in an office building through the use of occupancy sensor data. **Energy and Buildings**, v. 67, p. 587–595, 2013.
- EMERY, A. F.; KIPPENHAN, C. J. A long term study of residential home heating consumption and the effect of occupant behavior on homes in the Pacific Northwest constructed according to improved thermal standards. **Energy**, v. 31, n. 5, p. 677–693, 2006.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional: 2022 – ano base 2021**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2023.
- FABI, V. *et al.* Occupants’ window opening behaviour: a literature review of factors influencing occupant behaviour and models. **Building and Environment**, v. 58, p. 188–198, 2012.
- FENG, X.; YAN, D.; HONG, T. Simulation of occupancy in buildings. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 348–359, 2015.
- GUNAY, H. B. *et al.* Development and implementation of an adaptive lighting and blinds control algorithm. **Building and Environment**, v. 113, p. 185–199, 2017.
- HERKEL, S.; KNAPP, U.; PFAFFEROTT, J. Towards a model of user behaviour regarding the manual control of windows in office buildings. **Building and Environment**, v. 43, n. 4, p. 588–600, 2008.
- HUANG, L. *et al.* A study about the demand for air movement in warm environment. **Building and Environment**, v. 61, p. 27–33, mar. 2013.
- HUNT, D. The use of artificial lighting in relation to daylight levels and occupancy. **Building and Environment**, v. 14, n. 1, p. 21–33, 1979.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy in Buildings and Communities Programme. **Total energy use in buildings: analysis and evaluation methods (Annex 53)**. Project Summary Report, 2016. Disponível em: https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_PSR_Annex53.pdf. Acesso em: 04 maio 2023.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The Covid-19 crisis and clean energy progress**. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-covid-19-crisis-and-clean-energy-progress/buildings>. Acesso em: 17 mar. 2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Top ten electricity consuming countries**. Paris, 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/top-ten-electricity-consuming-countries-2018>. Acesso em: 17 de mar. 2021.

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Transition to sustainable buildings**: strategies and opportunities to 2050. Paris, 2013. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/1e300ab6-44de-41dc-8714-ee12a4800943/Building2013_free.pdf. Acesso em: 04 maio 2023.
- LINDELÖF, D.; MOREL, N. A field investigation of the intermediate light switching by users. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 790–801, 2006.
- LOVE, J. A. Manual switching patterns in private offices. **Lighting Research and Technology**, v. 30, n. 1, p. 45–50, 1998.
- MANICCIA, D. *et al.* Occupant use of manual lighting controls in private offices. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, v. 28, n. 2, p. 42–56, 1999.
- MCCARNEY, R. *et al.* The Hawthorne Effect: a randomised, controlled trial. **BMC Medical Research Methodology**, v. 7, p. 30, 2007.
- MOORE, T.; CARTER, D.; SLATER, A. Long-term patterns of use of occupant controlled office lighting. **Lighting Research & Technology**, v. 35, n. 1, p. 43–57, 2003.
- MOORE, T.; CARTER, D.; SLATER, A. User attitudes toward occupant controlled office lighting. **Lighting Research & Technology**, v. 34, n. 3, p. 207–216, 2002.
- NICOL, F.; WILSON, M.; CHIANCARELLA, C. Using field measurements of desktop illuminance in European offices to investigate its dependence on outdoor conditions and its effect on occupant satisfaction, and the use of lights and blinds. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 802–813, 2006.
- NIU, S. *et al.* Economic growth, energy conservation and emissions reduction: a comparative analysis based on panel data for 8 Asian-Pacific countries. **Energy Policy**, v. 39, n. 4, p. 2121–2131, 2011.
- OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**: new and expanded edition. Princeton: Princeton University Press, 2015.
- OUF, M. M.; GUNAY, H. B.; O'BRIEN, W. A method to generate design-sensitive occupant-related schedules for building performance simulations. **Science and Technology for the Built Environment**, v. 25, n. 2, p. 221–232, 2019.
- PALMER, J. *et al.* **Building performance evaluation programme**: findings from domestic projects, making reality match design. Londres: Innovate, 2016. Disponível em: <https://assets.publishing.service.gov.uk/>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- PALMER, J.; TERRY, N.; ARMITAGE, P. **Building performance evaluation programme**: findings from non-domestic projects, getting the best from buildings. Londres: Innovate, 2016. Disponível em: <https://assets.publishing.service.gov.uk/>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- PAULHUS, D. L. Measurement and control of response Bias. In: SHAVE, P.; ROBINSON, J. P.; WRIGHTSMAN, L. (ed.). **Measures of personality and social psychological attitudes**. San Diego: Elsevier, 1991.
- PIGG, S.; ELIERS, M.; REED, J. Behavioral aspects of lighting and occupancy sensors in private offices: a case study of a university office building. In: ACEEE 1996 SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS, Pacific Grove, 1996. **Proceedings [...]** Pacific Grove: ACEEE, 1996.
- RAJA, I. A.; NICOL, J. F.; MCCARTNEY, K. J. Natural ventilated buildings: Use of controls for changing indoor climate. **Renewable Energy**, v. 15, n. 1–4, p. 391–394, 1998.
- REINHART, C. F.; VOSS, K. Monitoring manual control of electric lighting and blinds. **Lighting Research & Technology**, v. 35, n. 3, p. 243–260, 2003.
- SAIDI, K.; HAMMAMI, S. The impact of CO₂ emissions and economic growth on energy consumption in 58 countries. **Energy Reports**, v. 1, p. 62–70, 2015.
- SILVA, P.; LEAL, V.; ANDERSEN, M. Occupants interaction with electric lighting and shading systems in real single-occupied offices: Results from a monitoring campaign. **Building and Environment**, v. 64, p. 152–168, 2013.
- STAATS, H.; VAN LEEUWEN, E.; WIT, A. A longitudinal study of informational interventions to save energy in an office building. **Journal of Applied Behavior Analysis**, v. 33, n. 1, p. 101–104, 2000.

- TAHMASEBI, F.; MOSTOFI, S.; MAHDAVI, A. Exploring the implications of different occupancy modelling approaches for building performance simulation results. **Energy Procedia**, v. 78, p. 567-572, 2015.
- VINE, E. *et al.* Office worker response to an automated venetian blind and electric lighting system: a pilot study. **Energy and Buildings**, v. 28, n. 2, p. 205–218, 1998.
- WAGNER, A.; O'BRIEN, W.; DONG, B. **Exploring occupant behavior in buildings: methods and challenges**. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- YAN, D. *et al.* IEA EBC Annex 66: definition and simulation of occupant behavior in buildings. **Energy and Buildings**, v. 156, p. 258–270, 2017.
- YANG, X.; ERGAN, S.; KNOX, K. Requirements of integrated design teams while evaluating advanced energy retrofit design options in immersive virtual environments. **Buildings**, v. 5, n. 4, p. 1302–1320, 2015.
- YAO, R.; LI, B.; LIU, J. A theoretical adaptive model of thermal comfort: adaptive predicted mean vote (aPMV). **Building and Environment**, v. 44, n. 10, p. 2089–2096, 2009.
- YOSHINO, H.; HONG, T.; NORD, N. IEA EBC annex 53: total energy use in buildings: analysis and evaluation methods. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 124–136, 2017.
- YU, Z. *et al.* A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 6, p. 1409–1417, 2011.
- YUDELSON, J. **Greening Existing Buildings**. New York: The McGraw-Hill Companies, 2010.
- YUN, G. Y. *et al.* A field survey of visual comfort and lighting energy consumption in open plan offices. **Energy and Buildings**, v. 46, p. 146-151, 2012.
- ZAIONTZ, C. **Real statistics using excel**. Disponível em: <https://www.real-statistics.com/>. Acesso em: 1 abr. 2022.

EneDir Ghisi

Conceitualização, Pesquisa, Metodologia, Supervisão, Validação de dados e experimentos, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Santa Catarina | Rua João Pio Duarte da Silva, 205, Córrego Grande | Florianópolis - SC - Brasil | CEP 88037-001 | E-mail: enedir.ghisi@ufsc.br

Mateus Bavaresco

Conceitualização, Curadoria de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Santa Catarina | E-mail: bavarescomateus@gmail.com

Acácio Gomes Corrêa Silvestre

Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Santa Catarina | E-mail: acaciogcs@gmail.com

Editora do artigo: **Luciana Inês Gomes Miron**

Editoras de seção: **Ercília Hitomi Hirota e Juliana Parise Baldauf**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.