INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO NO CONSUMO DE ENERGIA EM UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2

Douglas Roschildt Hax (1); Rodrigo Karini Leitzke (2); Antonio César Silveira Baptista da Silva (3); Eduardo Grala da Cunha (4)

(1) Mestre, Engenheiro Eletricista dgshax@gmail.com, Instituto Federal Sul-Riograndense (IFSul), Praça 20 de Setembro, 455 - Centro, Pelotas - RS, 96015-360, (53) 2123-1000

(2) Bacharel, Cientista da Computação, rodrigokarinileitzke@gmail.com, Universidade Federal de Pelotas, R. Benjamin Constant, 1359 - Centro, Pelotas - RS, 96010-020, (53) 3284-5500

(3) Doutor, Arquiteto, antoniocesar.sbs@gmail.com, Universidade Federal de Pelotas, R. Benjamin Constant, 1359 - Centro, Pelotas - RS, 96010-020, (53) 3284-5500

(4) Doutor, Arquiteto, eduardogralacunha@yahoo.com.br, Universidade Federal de Pelotas, R. Benjamin Constant, 1359 - Centro, Pelotas - RS, 96010-020, (53) 3284-5500

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar as interações dos usuários no uso dos sistemas de climatização, iluminação, ventilação natural, dispositivos internos de sombreamento de uma edificação de ensino da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Foram criados padrões de comportamento (ativo, intermediário e passivo). O usuário ativo busca o uso da luz natural, utiliza o sombreamento solar passivo e a integração da ventilação natural à artificial. O usuário intermediário não busca a integração da iluminação natural com a artificial, utiliza a ventilação híbrida como estratégia de ventilação. O usuário passivo não faz uso de nenhuma estratégia passiva, utiliza predominantemente o condicionamento artificial e ajusta o setpoint de resfriamento e aquecimento para valores fora das normativas. Foram realizadas simulações computacionais no programa EnergyPlus, a fim de mensurar a influência dos padrões de comportamento no consumo energético da edificação. Os resultados indicam que os usuários do edifício se situam entre o usuário intermediário e o passivo, com tendência ao perfil de usuário intermediário.

Palavras-chave: Simulação computacional; Consumo de energia; Comportamento de usuário.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the interactions of users in the use of air conditioning systems, lighting, natural ventilation, internal shading devices of a teaching building at the Federal University of Pelotas (UFPel). Behavior patterns (active, intermediate and passive) were created. The active user seeks the use of natural light, uses passive solar shading and the integration of natural and artificial ventilation. The intermediate user does not seek the integration of natural and artificial lighting, he uses hybrid ventilation as a ventilation strategy. The passive user does not use any passive strategy, predominantly uses artificial conditioning and adjusts the cooling and heating setpoint to values outside the norms. Computer simulations were performed in the EnergyPlus program, in order to measure the influence of behavior patterns on the building's energy consumption. The results indicate that the users of the building are located between the intermediate and the passive user, with a tendency to the intermediate user profile.

Keywords: Computer simulation; Energy consumption; User behavior.

1. INTRODUÇÃO

O setor de edificações é responsável globalmente por 40% do consumo anual de energia e por até 30% da emissão de gases de efeito estufa. Além disso, também representa 12% no consumo de água doce e aproximadamente 40% da geração de resíduos sólidos (CBCS, 2013). No Brasil, a situação é semelhante, e as edificações consomem grande parcela da energia elétrica. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2019, as edificações públicas consumiram 8,2% da energia disponibilizada e houve aumento de 1,89% em relação ao ano anterior (BRASIL, 2019). Além do impacto ambiental, há uma elevada despesa com energia elétrica também nas instituições de ensino federais, logo após as despesas com os serviços terceirizados de portaria, vigilância e limpeza. Dessa forma, torna-se clara e importante a necessidade de obter produtos energeticamente mais eficientes e de buscar alternativas mais eficientes de geração de energia, de construção das edificações e de hábitos dos usuários, bem como o desenvolvimento de regulamentos e programas que visem a incentivar a redução do consumo de energia elétrica das edificações públicas do país. A Universidade Federal de Pelotas (UFPel) possui, institucionalizado, o Programa de Bom Uso Energético (Proben), que visa à redução de consumo e dos custos relativos à energia elétrica e distribui recursos entre as unidades que economizam energia.

Diversas estratégias podem ser empregadas para melhorar o desempenho energético de uma edificação. Uma das estratégias amplamente aceita é o aproveitamento da luz natural no interior das edificações. Acredita-se que, em construções cujos horários de funcionamento são diurnos, aproveitar a luz natural no ambiente de forma correta é imprescindível para a obtenção de edificações energeticamente mais eficientes. Entretanto, um dispositivo de sombreamento interno pode ser ajustado — ou não — pelos ocupantes do ambiente e, desse modo, sua influência no desempenho energético de edificações pode ser variável (BAVARESCO, 2016). A ventilação natural é uma importante estratégia bioclimática para obter conforto térmico nos prédios através da redução de temperatura interna, assim o uso de sistemas artificiais de condicionamento de ar pode ser minimizado, promovendo a redução no consumo de energia (RACKES *et al.*, 2015).

O desempenho térmico e energético de edifícios é influenciado por vários fatores, incluindo características arquitetônicas, propriedades termofísicas de materiais, orientação, equipamentos, sistema de iluminação, ventilação, sistema HVAC, dispositivos de sombreamento e condições climáticas externas (DUBRUL, 1988; FABI et al., 2012; HALDI, ROBINSON, 2011). Além desses fatores, a influência do comportamento dos usuários no desempenho térmico e energético de edifícios também deve ser considerada. O comportamento dos usuários tem um impacto potencial no desempenho energético, através das interações com sistemas de iluminação, ventilação, sistema HVAC, abertura de janela e dispositivos de sombreamento de janelas (SORGATO,MELO, LAMBERTS, 2016). As interações dos usuários com a operação de janelas são importantes para alcançar condições de conforto térmico aceitáveis em que estratégias passivas, como ventilação natural, tem sido considerada (BRAGER, BAKER, 2009). Além disso, os autores verificaram que a necessidade de conforto térmico motiva os usuários a interagirem com dispositivos de ventilação presentes em construções que operam no modo híbrido (modo misto de ventilação).

Estudos têm mostrado que o comportamento dos usuários pode ter um impacto no consumo de energia do edifício. Sorgato (2015) analisou cenários com comportamentos dos usuários em modelos de residências unifamiliares e multifamiliares. As edificações foram simuladas com três padrões de comportamento de operação dos usuários: comportamento ativo, comportamento intermediário e comportamento passivo. Segundo o autor, os comportamentos dos usuários intermediários e passivos apresentou maior influência no consumo de energia para condicionamento artificial e piores condições de conforto térmico para as edificações multifamiliares. No entanto, para as edificações unifamiliares, a influência do comportamento intermediário e passivo foi menor no desempenho termoenergético. Bavaresco (2016) avaliou as interações dos usuários com os elementos internos de sombreamento de uma edificação de escritórios, localizada em Florianópolis/SC. Foram criados três padrões de comportamento (dois passivos e um ativo). Como tendência geral, percebeu-se que o usuário ativo favorece menores consumos totais em relação aos usuários passivos, independentemente da orientação avaliada.

Nesse contexto, tendo em vista a influência dos diferentes padrões de interação nos sistemas de climatização, iluminação, ventilação natural e dispositivos internos de sombreamento no desempenho energético, surgiu a necessidade de analisar os resultados de interações de diferentes usuários de uma edificação de ensino da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a influência da interação dos usuários nos sistemas de climatização, iluminação, ventilação natural e dispositivos internos de sombreamento no desempenho energético de uma edificação de ensino da UFPel, a partir da criação de padrões de comportamento. A partir disso, objetiva-se quantificar o consumo de energia para resfriamento e aquecimento, sistema de iluminação artificial e consumo total de um prédio existente.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas:

1. Definição do edifício de ensino no estudo de caso e levantamento de dados do local, incluindo visitas ao prédio. Após a preparação do modelo, com os primeiros dados levantados, foi realizada a calibração;
2. Criação de diferentes cenários de comportamento dos usuários, por meio de interação deles com os sistemas de climatização, iluminação, ventilação natural e dispositivo interno de sombreamento;
3. Simulações computacionais dos cenários criados e de desempenho energético em um edifício real, empregando os padrões de comportamento dos usuários;

Utilizou-se o programa de simulação computacional EnergyPlus, versão 8.7, para a estimativa dos consumos.

3.1. Modelagem computacional

O objeto de estudo é um edifício de ensino que faz parte de uma unidade acadêmica denominada Centro de Artes (Cearte), da Universidade Federal de Pelotas. O edifício possui cinco pavimentos, não tem dispositivos externos de sombreamento, como brises-soleil, e não sofre influência de sombreamento por edificações ou elementos do entorno.

A modelagem computacional foi realizada com base no edifício (Figura 1). O modelo foi elaborado com o programa EnergyPlus e seu plug-in para o programa de modelagem para o SketchUp (Legacy OpenStudio), a partir dos dados obtidos na fase de levantamento. Após essa fase, foram feitos ajustes nos parâmetros de entrada para obter o modelo final, denominado de modelo base. O consumo real de energia elétrica anual do edifício em estudo é de 67.819 KWh e o simulado de 68.134 KWh, diferença de 0,47%. As dimensões da envoltória, dos ambientes internos, portas, corredores, bem como as dimensões e a posição das janelas presentes na edificação são fiéis às apresentadas no projeto arquitetônico, disponibilizado pela PROPLAN (Pró-reitoria de Planejamento e Desenvolvimento da UFPel). Cada ambiente do prédio foi modelado como uma zona térmica. Com relação ao percentual de abertura de fachada (PAF), a orientação leste possui um PAF de 30%, a orientação sul tem um PAF de 32%, a orientação oeste tem um PAF de 19,79% e a orientação norte tem um PAF de 15%. A área efetiva para ventilação corresponde a 13%, para um ângulo de abertura de 30º. Cada sala de aula possui janelas com dimensões variadas, com sistema de abertura do tipo maxim-ar. Não há proteção solar externa nas janelas, embora tenham persianas internas verticais na cor bege. Este foi o tipo encontrado nas observações realizadas em campo e, portanto, inserido nas simulações. Outro item modelado foi às persianas existentes nas janelas. Elas foram inseridas no EnergyPlus como objeto do tipo "Blind", sendo o material de aletas com média refletividade. Os dispositivos de sombreamento funcionam de acordo com a incidência da radiação solar direta, tendo sido estabelecido um valor de setpoint de 250 W/m². A orientação solar do modelo permaneceu inalterada durante todo o processo de simulação.

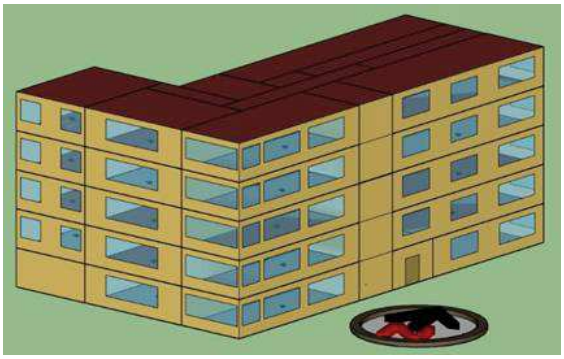


Figura 1 – Localização do prédio monitorada.

3.2. Propriedades térmicas dos componentes da envoltória

Os materiais dos componentes da envoltória, como paredes, cobertura, aberturas e piso, são os mesmos do edifício, disponibilizados no memorial descritivo. As propriedades térmicas dos materiais utilizados foram retiradas da NBR 15.220 Parte 2 (ABNT, 2005), conforme a Tabela 1.

As paredes internas e externas possuem a mesma composição, sendo compostas por argamassa de revestimento externo (2,5 cm), tijolo cerâmico de seis furos (9x14x19 cm), argamassa de revestimento interno (2,5 cm).

A composição do piso possui um contrapiso (5 cm), argamassa de nivelamento (2 cm) e revestimento do tipo granitina. O piso das salas de aula tem uma camada de piso do tipo vinílico.

A cobertura do edifício é feita por telha de fibrocimento de 0,6 cm e forro de laje de 10 cm. A composição da cobertura do auditório possui telha tipo sanduíche metálica, trapezoidal de 0,65 cm, isolamento térmico e acústico de poliuretano de 3 cm e forro de gesso acartonado de 0,9 cm. Os vidros inseridos nas fachadas foram vidros simples de 5 mm, com transmitância à luz visível de 0,88 e fator solar de 0,82.

Fechamento	Material	Espessura (cm)	ρ (kg/m³)	λ (W/m.K)	C (kJ/(kg.K))
Paredes	Argamassa	2,5	1800	1,15	1,00
	Tijolo cerâmico seis furos	9,0x14,0x19,0	1600	1,00	0,92
	Argamassa	2,5	1800	1,15	1,00
Piso	Contrapiso	5,0	2200	1,75	1,00
	Argamassa	2,0	1800	1,15	1,00
	Granitina	3,0	2300	3,00	0,84
Cobertura	Telha de fibrocimento	6,0	1900	0,95	0,84
	Laje	10,0	2200	1,75	1,00
Cobertura auditório	Telha sanduíche metálica	6,5	2700	230,00	0,88
	Isolante poliestireno	3,0	35	0,04	0,70
	Forro de gesso	1,0	750	0,35	0,84

Tabela1–Propriedades térmicas dos materiais.
Fonte: Autores (2021)

3.3. Identificação dos Ambientes Internos

De acordo com os levantamentos, as cargas térmicas internas referem-se à ocupação, considerando a taxa metabólica de pessoa sentada - as salas de aula possuem tamanhos variados, consequentemente à quantidade de pessoas são variáveis, compostas por alunos e um professor, bem como as densidades de potência também são variáveis, de 4 a 12,76 (W/m²) para iluminação e de 1,63 a 161,28 (W/m²), para equipamentos. Quanto aos equipamentos de ar condicionado, encontram-se distribuídos ao longo do edifício, instalados em 18 ambientes. Além da marca, foram identificadas nas etiquetas as seguintes informações nominais: capacidade de refrigeração/aquecimento e potência elétrica.

Para o equipamento de ar-condicionado do tipo Split com selo A, o COP necessita ser maior do que 3,23 (INMETRO, 2010). Os equipamentos de ar-condicionado instalados possuem COP de 3,34 para a função de aquecimento e resfriamento.

O padrão de uso dos equipamentos e dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar coincide com a ocupação dos ambientes.

3.4. Comportamento do usuário

Para analisar o impacto, em diferentes cenários, do comportamento de usuários em relação à operação nos sistemas de climatização, iluminação, ventilação natural e dispositivo interno de sombreamento, foram modelados três diferentes cenários de comportamento de usuário: comportamento ativo, comportamento intermediário, comportamento passivo. Neste tópico, são apresentadas as particularidades de todos os perfis comportamentais.

3.4.1. Comportamento do usuário ativo

No comportamento do usuário ativo, ele ventila a edificação buscando a melhor sensação térmica. Esse usuário explora a integração da iluminação artificial com a natural e de aquecimento solar passivo, minimizando o consumo de energia elétrica nos sistemas de iluminação artificial e de condicionamento artificial, respectivamente.

O usuário ativo utiliza a ventilação natural e controla a operação dos dispositivos de sombreamento durante a ocupação. Com relação à ventilação natural, se a temperatura interna estiver dentro da faixa de conforto, a ventilação natural é permitida quando necessário, não havendo necessidade de climatizar. No período em que não há ocupação nos ambientes, o usuário ativo fecha as janelas e desativa o sistema de condicionamento de ar.

O funcionamento do sistema de condicionamento de ar ocorre em situações pré-definidas para o usuário ativo. Para aquecimento, o sistema entra em funcionamento assim que o usuário percebe que a temperatura interna atingiu valores menores do que 18°C, ou seja, quando ele está em desconforto térmico por frio, dentro do ambiente. Para o resfriamento, o sistema opera quando o usuário percebe que foi ultrapassado o limite superior de conforto térmico de 29°C, conforme os limites para países em desenvolvimento de Givoni (1992). Desta forma, tenta-se reduzir o desconforto por calor ativando o sistema de condicionamento artificial.

De acordo com a ASHRAE 55 -2013, o método adaptativo para atender 80% dos usuários considera como temperatura neutra, ideal de conforto, a Equação 1 abaixo:

$$Tn = 17{,}8 + 0{,}31 * Tmext \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
Tn é a Temperatura Neutra;
Tmext é a Temperatura média do ar exterior.

Quanto aos limites estabelecidos para o conforto térmico, foi utilizado o conforto adaptativo da Standard ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013), com 80% de aceitabilidade por parte dos usuários, levando em consideração o valor de temperatura neutra, obtida através da equação acima, +3,5°C para o limite superior e –3,5°C para limite inferior. Para o clima de Pelotas, o limite superior não ultrapassa 29,06°C e, para o limite inferior, não é registrado um valor limite abaixo de 18,11°C, ao longo do ano. Considerando os períodos mais extremos do ano, foram considerados 29,06°C e 18,11°C os limites aceitáveis para o ano. Assim, quando a temperatura interna operativa está acima ou abaixo dos limites de 29,06°C e 18,11°C, o sistema de resfriamento ou aquecimento é acionado. Definiu-se que a temperatura de termostato de refrigeração é de 26°C e a de aquecimento é de 22°C.

O usuário ativo utiliza o controle de iluminância por meio de sensores, ou seja, quando o nível da luz natural for maior que 500 lux, o sistema de iluminação artificial desliga. Quando o nível de iluminância for menor que 500 lux, a iluminação artificial liga.

O Energy Management System (EMS) foi adotado como estratégia para o controle do sistema de ventilação (artificial e natural) e ocupação. Como sensores do EMS, 65 objetos foram criados para avaliar as condições de temperatura externa, temperatura operativa e ocupação dos ambientes de permanência prolongada. Como acionadores, 168 objetos foram criados a fim de verificar o comportamento de cada janela, bem como o acionamento do sistema de ar-condicionado ou ventilação natural, em cada um dos ambientes.

A edificação é ventilada somente durante o período de ocupação. Na Figura 2, são apresentadas as características das interações do usuário ativo.

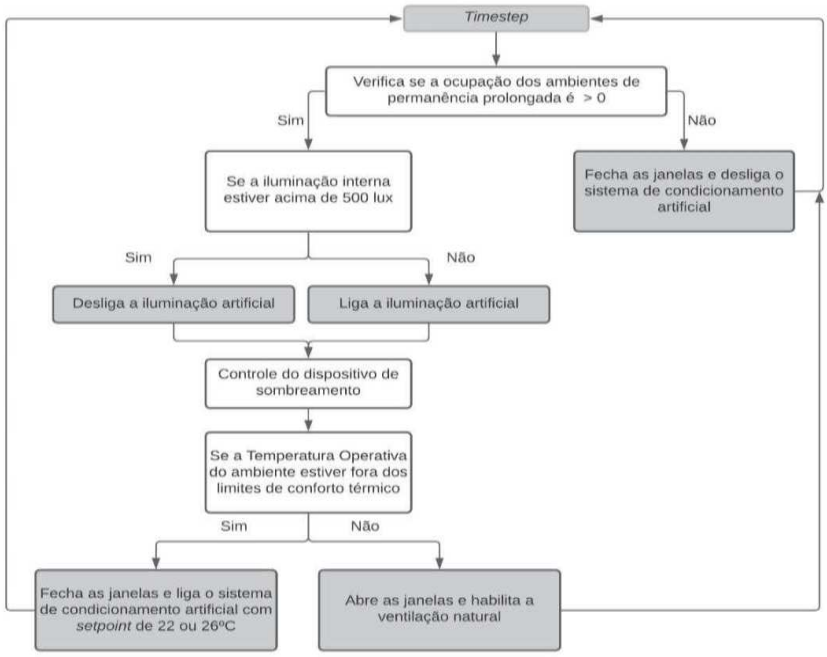


Figura 2 – Detalhamento do comportamento do usuário ativo.

3.4.2. Comportamento do usuário intermediário

Diferentemente do usuário ativo, no usuário intermediário a integração da ventilação natural e do sistema de condicionamento artificial é realizado por meio do objeto de ventilação híbrida do EnergyPlus. Para a modelagem de sistema de ventilação híbrida, o programa de simulação possui o AvailabilityManager:HybridVentilation. O uso desse gestor impede que a ventilação mecânica e a natural ocorram ao mesmo tempo e permite que os usuários examinem várias estratégias de ventilação para maximizar a ventilação natural, a fim de reduzir as cargas de aquecimento/resfriamento.

No período em que há ocupação na edificação, as persianas (dispositivos de sombreamento) permanecem totalmente abertas. O usuário intermediário mantém o sistema de iluminação artificial funcionando de maneira ininterrupta. Assim, esse usuário não busca a integração com a luz natural. O funcionamento do sistema de condicionamento de ar também ocorre em situações pré-definidas para o usuário intermediário (assim como visto no caso do usuário ativo). Para aquecimento, o sistema entra em funcionamento assim que a temperatura interna atinge valores menores do que o limite inferior do conforto adaptativo da Standard ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013), enquanto para o resfriamento o sistema opera de acordo com o limite superior de conforto da mesma normativa. Dessa forma, quando a temperatura operativa interna está acima ou abaixo da zona de conforto, o usuário intermediário aciona o sistema de resfriamento ou de aquecimento. As temperaturas de termostato de resfriamento e de aquecimento foram às mesmas consideradas para o usuário ativo. O fluxograma do usuário intermediário pode ser visualizado na Figura 3.

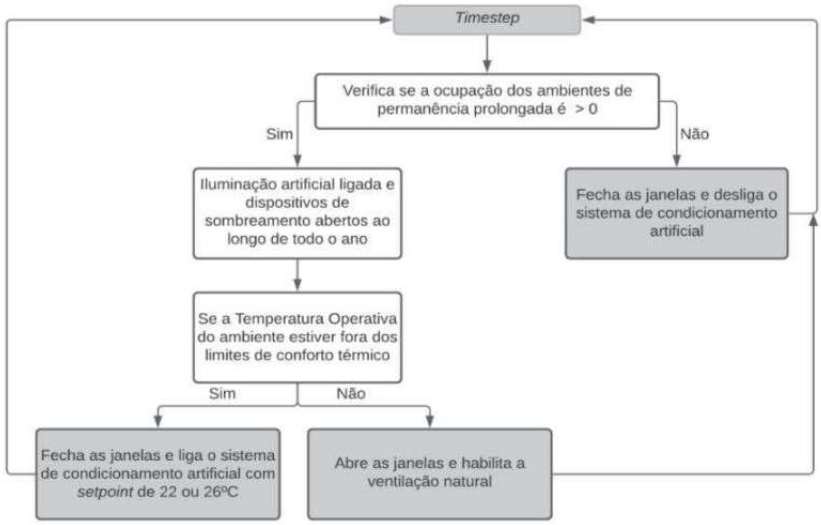


Figura 3 – Detalhamento do comportamento do usuário intermediário.

3.4.3. Comportamento do usuário passivo

O usuário passivo representa ocupantes que não estão preocupados com as condições térmicas dos ambientes. O usuário passivo não utiliza estratégia passiva, ou seja, não ventila a edificação, nem utiliza a iluminação natural.

Da mesma forma que ocorre com o usuário intermediário, com o usuário passivo, o sistema de condicionamento artificial para aquecimento entra em funcionamento assim que a temperatura interna atinge valores menores do que o limite inferior do conforto adaptativo, com 80% de aceitabilidade da Standard ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013), enquanto para o resfriamento do edifício o sistema opera de acordo com o limite superior da mesma normativa. A principal diferença do usuário passivo para o usuário intermediário está na busca pela sensação térmica de maneira rápida. Para isso, o usuário passivo aciona o condicionador de ar com setpoints de resfriamento e aquecimento que superam os valores estabelecidos pelas normativas ou encontrados na literatura. Definiram-se as temperaturas de termostato de resfriamento 17°C e de aquecimento 28°C.

No período em que há ocupação na edificação, as persianas (dispositivos de sombreamento) permanecem totalmente abertas, ou seja, o usuário passivo não se preocupa em sombrear o ambiente enquanto o ocupa. A Figura 4 abaixo apresenta o fluxograma do usuário passivo.

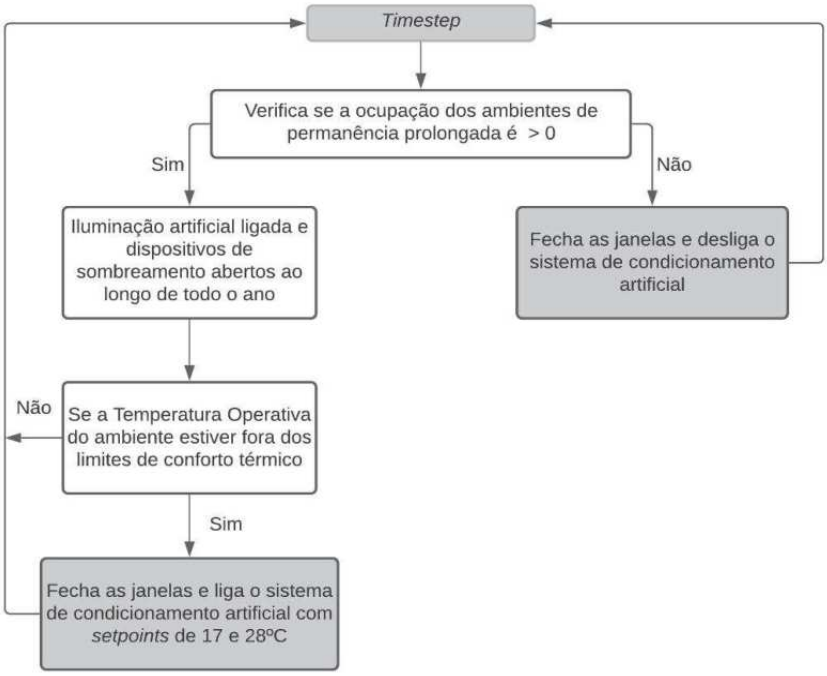


Figura 4 – Detalhamento do comportamento do usuário passivo.

3.5. Simulação de desempenho energético

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. A edificação foi simulada com ventilação natural durante os períodos em que os ambientes atenderam às condições de conforto térmico. Por outro lado, nos períodos em que os ambientes não atenderam às condições de conforto térmico, foram simulados com sistema de condicionamento artificial.

4. RESULTADOS

Neste tópico, serão apresentados os resultados obtidos neste artigo. Serão mostrados os resultados das simulações computacionais de desempenho energético dos modelos de perfis de comportamento dos usuários.

4.1. Análise do consumo dos sistemas de climatização artificial

A primeira análise de consumo de energia foi realizada entre os usuários para o consumo de condicionamento artificial. A Figura 5 apresenta a variação de uso final de energia para condicionamento artificial referente aos usuários ativo, intermediário, passivo, considerando o consumo de aquecimento e o consumo de resfriamento.

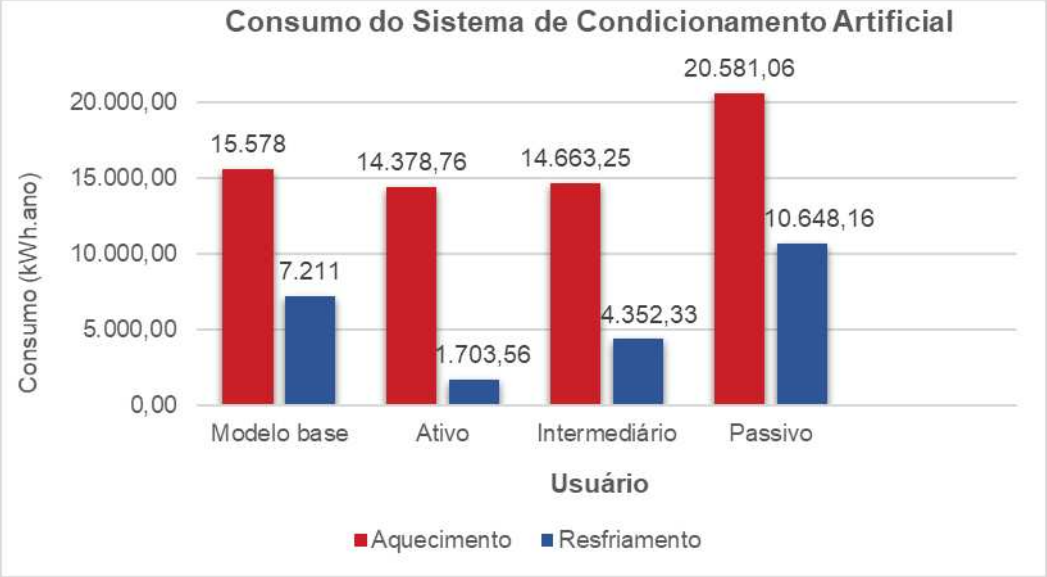


Figura 5 – Consumo anual do sistema de condicionamento artificial.

De acordo com os resultados obtidos a partir das simulações, percebe-se que o consumo anual de energia elétrica para aquecer os ambientes de permanência prolongada manteve-se elevado, mas inferior ao modelo base. A redução média do consumo de aquecimento é de 1.000 KWh. Assim, as estratégias adotadas tiveram pouca influência na redução do consumo de aquecimento. O elevado consumo de aquecimento ocorreu devido à alta transmitância térmica das fachadas e cobertura, havendo maior perda de calor pelo edifício.

Entretanto, para resfriamento, observa-se que há uma significativa redução no consumo de energia elétrica com os diferentes usuários. Nesse sentido, uma redução de aproximadamente 61% do consumo foi obtida com o usuário ativo, em relação ao usuário intermediário; uma redução de aproximadamente 59% do consumo, com o usuário intermediário, em relação ao usuário passivo; e uma redução de 84% no consumo de resfriamento, com o usuário ativo, em relação ao usuário passivo. O usuário passivo alterou o setpoint da temperatura de resfriamento de 26°C (modelo base, usuários ativo e intermediário) para 17°C e o setpoint da temperatura de aquecimento de 22°C para 28°C. Essa alteração nos setpoints de aquecimento e resfriamento ocasiona um aumento significativo no consumo de energia elétrica. Se comparado ao caso base, o aumento do consumo de energia para aquecimento é de 132% e para o resfriamento é de 148%, esses dados demonstram o impacto dos setpoints de aquecimento e resfriamento no consumo de energia para condicionamento de ar.

As temperaturas mais altas do ar externo, mais o ganho de calor pelas cargas internas e a radiação solar incidente nas fachadas — por passarem menos tempo obstruídas, as janelas são responsáveis por transferir mais calor ao ambiente interno — fazem com que parte das temperaturas operativas nas zonas nos meses mais quentes fiquem acima do limite superior para 80% de aceitabilidade, nos casos simulados. Isso demonstra a necessidade da participação do condicionamento artificial para reduzir as temperaturas internas nas zonas e mantê-las dentro da faixa de conforto o que, consequentemente, aumenta os consumos com resfriamento.

A remoção de carga térmica da edificação através da ventilação natural contribui com a redução do consumo de energia para resfriamento, decorrente da utilização de sistemas de condicionamento de ar. A redução significativa no consumo de energia com climatização do edifício com usuário ativo pode ser explicada pela adoção de duas estratégias passivas simultaneamente — iluminação natural e ventilação natural. Assim, o consumo em iluminação artificial diminuiu, devido ao aproveitamento da luz natural, conduzindo a uma redução na carga térmica interna do ambiente, proveniente da dissipação de calor das lâmpadas. Além disso, nesse caso, a carga térmica interna do ambiente também foi reduzida devido ao uso

da ventilação natural que, consequentemente, diminui a temperatura interna. Desse modo, o consumo do sistema de condicionamento artificial, na função de resfriamento, é duplamente afetado. Entretanto, para o consumo de aquecimento, as estratégias adotadas tiveram pouca influência na redução do consumo.

4.2. Análise dos consumos totais dos usuários

A análise de consumo de energia foi realizada entre os usuários para o consumo total de energia apresentados na Figura 6.

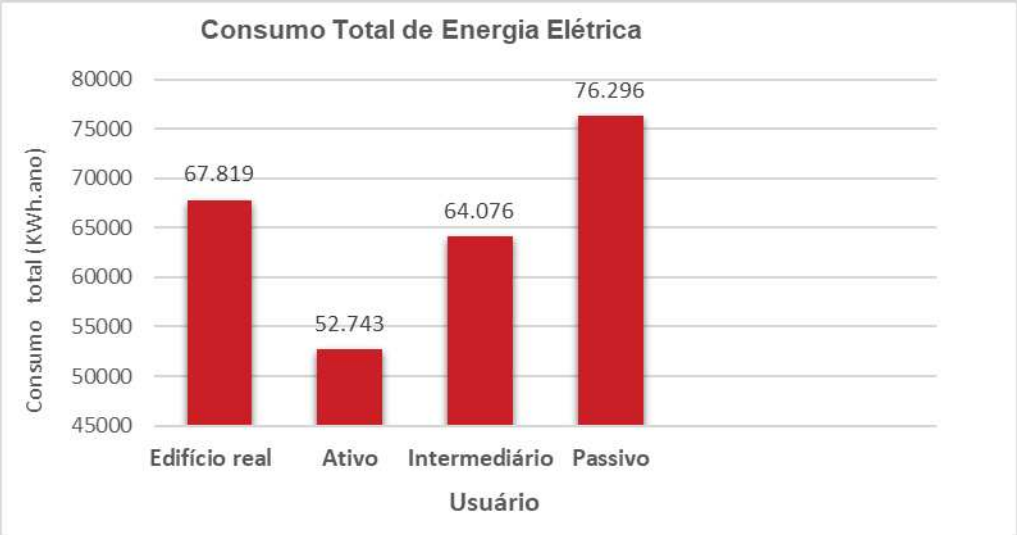


Figura 6 – Consumo anual total dos usuários.

De acordo com a Figura 6, o aumento no consumo total de energia elétrica do usuário passivo em relação ao usuário ativo foi de aproximadamente 45%, pois o passivo não utilizou estratégias de condicionamento e iluminação natural. Através da análise dos consumos de energia, pode-se afirmar que os usuários do edifício se caracterizam entre o intermediário e o passivo, com tendência ao intermediário. Assim, percebe-se um indicador do potencial de economia de energia com educação do usuário.

5. CONCLUSÕES

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência do comportamento dos usuários na eficiência energética em edifício de ensino situado em Pelotas-RS.

A influência do comportamento do usuário foi analisada por meio de simulação. Para tanto, recorreu-se à literatura para criar cenários de comportamento de usuário. Foram criados três padrões de comportamento de usuários, em relação às interações com as estratégias adaptáveis no edifício: ativo, intermediário e passivo.

Os resultados demonstram que a postura do usuário define o desempenho energético do edifício, que pode variar até 84% para refrigeração, 35% para iluminação e 30% do consumo total anual, entre os usuários ativos e passivos.

Quanto ao consumo com aquecimento, pouca variação foi obtida entre os usuários. Como causa, foi identificada a baixa qualidade do edifício para enfrentar o inverno do sul do país. Paredes, coberturas e janelas com elevada transmitância/transmissão geram desconforto térmico aos usuários e resultam em maior demanda de energia para aquecimento do que para resfriamento. Neste caso, como o problema está no projeto da envoltória do edifício, retira do usuário qualquer possibilidade de intervenção. Este estudo demonstra que edificações públicas, comerciais e de serviço têm, sim, que se adaptar ao clima frio do sul do país e que a demanda por aquecimento é extremamente importante e não pode ser desconsiderada no regulamento de eficiência energética.

Através deste estudo, também foi possível caracterizar os usuários do edifício real entre o passivo e o intermediário, com tendência a esse último. Esse/O resultado é bem interessante e condizente com a postura da unidade de ensino, que aplica os princípios do Proben e é uma das unidades que mais recebe retorno financeiro da economia alcançada.

Essa caracterização pode ser vista como um potencial de intervenção e educação, com incentivos ao uso eficiente de energia. Assim, obtém-se um indicador do potencial econômico de energia através do usuário. Conforme a bibliografia já apontava, a postura do usuário determina o consumo de energia na

edificação. Porém, através deste estudo, foi possível verificar o quanto a postura do usuário pode influenciar no consumo energético de um prédio público de ensino superior.

Além disso, foi possível observar que estratégias passivas de condicionamento durante o verão apresentam potencial sob o ponto de vista energético para edifícios de ensino. Entretanto, se não forem utilizadas de forma correta por seus usuários, podem se tornar ineficientes ou insuficientes.

Cabe ressaltar que os resultados do presente estudo se referem à edificação de ensino existente, em que a ventilação natural e o sistema de ar-condicionado funcionaram com a condição de ventilação seletiva, realizada precisamente nas condições preestabelecidas. Diferentes características construtivas, cargas térmicas internas e de ocupação podem influenciar nos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ANEEL. **Programa de Eficiência Energética - ANEEL**. 2012. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica. Acesso em: 30 de set. de 2020.

ASHRAE. **Standard 55-2013** - Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013.

BAVARESCO, M. V. **Influência da interação dos usuários com elementos internos de sombreamento na eficiência energética de edificações comerciais**. 2016. 158 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2016.

BRAGER, G.; BAKER, L. Occupant satisfaction in mixed-mode buildings. **Building Research & Information**: v. 37, n. 4, p. 369-380, 2009.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2019**: ano-base 2018. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

DOE. v 8.7 **Input/output reference**: The encyclopedic reference to EnergyPlus input and output. US Department of Energy, 2019.

DUBRUL, C. **Inhabitants behaviour with respect to ventilation**. Coventry, UK, Rapport IEA Annex, v. 8, 1988.

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.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines**. Energy and buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

HALDI, F; ROBINSON, D. The impact of occupants' behaviour on building energy demand. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 4, n. 4, p. 323-338, 2011.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos, RTQ-C**. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro, 2010.

RACKES, A. *et al*. Avaliação do potencial de conforto térmico em escolas naturalmente ventiladas. *In:* XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015, São Paulo. **Anais**... São Paulo/SP: 2015, p. 2-10.

SORGATO, M. J. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. 2015. 260p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 1-13, 2016.