

Bruna Faitão Balvedi

Desenvolvimento de método estocástico de ocupação para estudo do desempenho térmico e energético de edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis – SC

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Enedir Ghisi, Ph.D.

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Balvedi, Bruna Faitão

Desenvolvimento de método estocástico de ocupação
para estudo do desempenho térmico e energético de
edificações residenciais multifamiliares de
Florianópolis - SC / Bruna Faitão Balvedi ;
orientador, Enedir Ghisi, 2019.

208 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. comportamento do
usuário. 3. edificações residenciais
multifamiliares. 4. modelo estocástico. 5. cadeias
de Markov. I. Ghisi, Enedir. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil. III. Título.

Bruna Faitão Balvedi

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO ESTOCÁSTICO DE
OCUPAÇÃO PARA ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO E
ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS
MULTIFAMILIARES DE FLORIANÓPOLIS – SC**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 25 de Fevereiro de 2019.

Prof. EneDir Ghisi, Ph.D. – UFSC
Orientador

Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Banca Examinadora:

Prof^a. Lucila Chebel Labaki, Dr^a. – UNICAMP
(por videoconferência)

Prof. Aldomar Pedrini, Dr. – UFRN
(por videoconferência)

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D. – UFSC

Prof^a. Veridiana Atanasio Scalco, Dr^a. – UFSC

Prof. Devis Marinoski, Dr. – UFSC

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, meus maiores exemplos de dedicação, agradeço pelos ensinamentos mais importantes. À minha família, agradeço por sempre me apoiarem e por me mostrarem as ferramentas para construir meu próprio caminho.

Ao Adriano, agradeço por todo o carinho, motivação e a melhor companhia que eu poderia desejar ao longo dessa jornada.

Ao Enedir, agradeço pela orientação excelente, pelo imenso aprendizado e pela confiança depositada no meu trabalho.

A todos os professores, agradeço por compartilharem seus conhecimentos e por se dedicarem para engrandecer a pesquisa científica nacional.

Aos colegas, agradeço pela parceria diária e pela troca de ideias que contribuíram para o proveito dessa experiência.

Aos amigos, agradeço por estarem sempre disponíveis e presentes, para apoiar e comemorar cada conquista.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina e, ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

“The world is full of obvious things which nobody
by any chance ever observes.”
(Sir Arthur Conan Doyle, 1902)

RESUMO

As edificações residenciais são responsáveis por parcela significativa do consumo de eletricidade no Brasil. Melhorar o desempenho térmico e energético dessas edificações demanda conhecimento sobre as variáveis que o influenciam, tais como as características da envoltória. Contudo, para se aproximar de cenários reais de uso da edificação e explorar ao máximo o potencial de melhoria do desempenho termoenergético, o estudo deve considerar também as interações do usuário com o ambiente construído. O comportamento do usuário influencia as condições do ambiente interno por meio da ocupação dos ambientes e pela interação com elementos da edificação, tais como sistema de ar-condicionado, persianas e janelas. O objetivo deste trabalho é desenvolver um método estocástico de ocupação para estudar a influência do comportamento do usuário combinado a variáveis da envoltória no desempenho térmico e energético de edificações residenciais multifamiliares. Uma base de dados do comportamento do usuário foi criada a partir do monitoramento da ocupação, operação de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas. O monitoramento do comportamento do usuário foi realizado por meio da aplicação de questionários a moradores de edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis – SC. Um modelo estocástico de ocupação foi desenvolvido a partir dos dados monitorados, utilizando o método de cadeias de Markov de primeira ordem. Os perfis estocásticos resultantes do modelo foram aplicados em simulações computacionais, conduzidas com o programa EnergyPlus, de um objeto de estudo, configurando o comportamento do usuário em cada unidade habitacional de acordo com os resultados da base de dados. O objeto de estudo, correspondente ao pavimento tipo de uma edificação residencial multifamiliar, foi selecionado por meio de análise de agrupamento. Nessa análise, foram consideradas as principais características projetuais verificadas para edificações residenciais multifamiliares construídas e em uso em Florianópolis. A aplicação do modelo estocástico de ocupação foi conduzida concomitantemente à variação de características da envoltória por meio do projeto de experimentos. Os resultados das simulações computacionais foram analisados mediante os indicadores de graus hora de resfriamento, graus hora de aquecimento e consumo energético para sistema de ar-condicionado. Os resultados de efeitos principais e efeitos de combinação demonstraram a influência majoritária da composição de paredes externas no desempenho termoenergético do objeto de estudo. Os baixos valores obtidos para os efeitos de combinação indicaram que a influência das variáveis de estudo independe do nível em que estão

configuradas as demais variáveis. A análise da influência do comportamento do usuário combinado a variáveis da envoltória demonstrou variação de até 39% no desempenho termoenergético da edificação. A verificação dos perfis estocásticos de ocupação resultou em variação de até 2% nos indicadores de desempenho termoenergético, demonstrando que o modelo estocástico de ocupação desenvolvido reproduziu com sucesso o comportamento monitorado, apresentando as principais tendências diárias e, adicionalmente, representando a aleatoriedade do comportamento real do usuário.

Palavras-chave: comportamento do usuário, edificações residenciais multifamiliares, modelo estocástico, cadeias de Markov.

ABSTRACT

Residential buildings are responsible for significant part of the electricity consumption in Brazil. Improvement in building energy performance demands knowledge on influencing variables, such as characteristic of the envelope of the building. Nevertheless, in order to mimic real use scenarios and explore the maximum potential of building energy performance improvement, the study must also consider the interactions between user and the built environment. Occupant behaviour influences internal conditions by means of occupancy and interaction with elements, such as air conditioning system, blinds and windows. The objective of this work is to develop an occupancy stochastic method for study of the influence of occupant behaviour combined with variables of the envelope on thermal and energy performance of residential multifamily buildings. A data base of occupant behaviour was created through monitoring occupancy and control of air conditioning system, blinds and windows. Monitoring occupant behaviour was conducted by means of questionnaire application with dwellers of residential multifamily building in Florianópolis – SC. A stochastic occupancy model was developed using monitoring data and a first order Markov chain method. The stochastic results were applied in computer simulations, conducted using EnergyPlus, of a building model whose flats were set with occupant behaviour, accordingly with the data base. The building model refers to a single floor of a residential multifamily building. It was selected by clustering analysis conducted using the main characteristic of project for multifamily residential buildings constructed and in use in Florianópolis. The application of the occupancy stochastic model was conducted simultaneously to the variation of the envelope using design of experiment. Results from building simulation were analysed in regard to heating and cooling degree hours, and energy consumption for air conditioning system. Results of main effects and interaction effects demonstrated that the external walls composition yielded the major influence on building energy performance. Low values found for interaction effects pointed that the influence of the studied variables does not depend on the levels of the other variables. The analysis of the influence of occupant behaviour combined with envelope variables yielded up to 39% variation on building energy performance. The verification of occupancy stochastic profiles yielded a 2% variation on the building energy performance indexes. This result showed that the occupancy stochastic model was able to successfully replicate monitored

occupant behaviour, presenting the main daily tendencies and, additionally, it presented the randomness of real occupant behaviour.

Keywords: occupant behaviour, multifamily residential buildings, stochastic model, Markov chains.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema gráfico da transição entre estados de um sistema binário.	46
Figura 2. Fluxograma do método.	66
Figura 3. Fluxograma para a definição do estado de ocupação no passo de tempo futuro.	77
Figura 4. Sistemas de ar-condicionado existentes nos ambientes (salas e dormitórios).	97
Figura 5. Distribuição dos sistemas de ar-condicionado, por ambiente.	98
Figura 6. Distribuição dos sistemas de ar-condicionado nos ambientes de longa permanência, por pavimento.	99
Figura 7. Operação dos sistemas de ar-condicionado, por tipo e ambiente.	100
Figura 8. Operação de persianas internas, por ambiente.	102
Figura 9. Motivos para a operação da cortina ou persiana interna.	103
Figura 10. Operação de janelas, por ambiente.	105
Figura 11. Operação de janelas, por pavimento.	107
Figura 12. Ocupação dos ambientes para (a) dias úteis e (b) dias de final de semana.	109
Figura 13. Distribuição das horas ocupadas nos ambientes, por período do dia.	111
Figura 14. Exemplos de perfis de ocupação monitorados, para o dormitório e em dias úteis.	113
Figura 15. Percentuais de usuários presentes e ausentes na sala.	115
Figura 16. Percentuais de usuários presentes na sala.	116
Figura 17. Percentuais de usuários presentes e ausentes no dormitório.	117
Figura 18. Percentual de usuários presentes no dormitório.	118
Figura 19. Probabilidade de presença no passo de tempo futuro na sala.	119
Figura 20. Probabilidade de presença no passo de tempo futuro no dormitório.	120
Figura 21. Exemplos de perfis estocásticos de ocupação na sala em dias úteis.	122
Figura 22. Exemplos de perfis estocásticos de ocupação no dormitório em dias úteis.	124
Figura 23. Perfis monitorado e predito de ocupação na sala (a) em dias úteis e (b) em dias de final de semana.	127
Figura 24. Perfis monitorado e predito de ocupação no dormitório em (a) dias úteis e (b) em dias de final de semana.	129

Figura 25. Dendograma da análise de agrupamento.	132
Figura 26. Croqui esquemático da planta de pavimento tipo da edificação residencial multifamiliar, com indicação das quatro unidades habitacionais.	135
Figura 27. Perfis de ocupação na sala em dias úteis, para as unidades habitacionais (a) UH1, (b) UH2, (c) UH3 e (d) UH4.....	137
Figura 28. Perfis de ocupação na sala em dias de final de semana, para as unidades habitacionais (a) UH1, (b) UH2, (c) UH3 e (d) UH4.....	138
Figura 29. Perfis de ocupação no dormitório em dias úteis, para as unidades habitacionais (a) UH1, (b) UH2, (c) UH3 e (d) UH4.....	140
Figura 30. Perfis de ocupação no dormitório em dias de final de semana, para as unidades habitacionais (a) UH1, (b) UH2, (c) UH3 e (d) UH4.	141
Figura 31. Efeitos das variáveis de estudo sobre a variável resposta de graus hora de resfriamento.....	152
Figura 32. Efeitos das variáveis de estudo sobre a variável resposta de graus hora de aquecimento.....	154
Figura 33. Efeitos das variáveis de estudo sobre os graus hora de resfriamento para o dormitório 2.	156
Figura 34. Efeitos das variáveis de estudo sobre os graus hora de resfriamento para o dormitório 2.	157
Figura 35. Resultados de graus hora de resfriamento por ambiente. ..	158
Figura 36. Resultados de graus hora de aquecimento por ambiente. ..	159
Figura 37. Resultados de graus hora de resfriamento por unidade habitacional do pavimento tipo.	161
Figura 38. Resultados de graus hora de aquecimento por unidade habitacional do pavimento tipo.	162
Figura 39. Consumo anual de energia para resfriamento por unidade habitacional.	164
Figura 40. Consumo anual de energia para aquecimento por unidade habitacional.	165
Figura 41. Resultados de graus hora de resfriamento para cada perfil estocástico de ocupação.	168
Figura 42. Resultados de graus hora de aquecimento cada perfil estocástico de ocupação.	169

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Probabilidades de transição entre os estados de um sistema binário.	47
Tabela 2. Exemplo de probabilidades de transição obtidas a partir de uma cadeia de Markov de primeira ordem.	74
Tabela 3. Cargas térmicas internas configuradas para cada zona térmica.	83
Tabela 4. Variáveis da envoltória selecionadas e seus níveis.	86
Tabela 5. Propriedades dos vidros selecionados.	88
Tabela 6. Características da unidade habitacional representativa de cada grupo.	133
Tabela 7. Percentual de respostas obtidas para cada modo de operação do sistema de ar-condicionado.	143
Tabela 8. Percentual de respostas obtidas para cada modo de operação de persianas.	143
Tabela 9. Percentual de respostas obtidas para cada modo de operação de janelas.	144
Tabela 10. Níveis superior e inferior das variáveis da envoltória selecionadas.	146
Tabela 11. Matriz de experimentos para o planejamento das simulações computacionais.	147
Tabela 12. Matriz de experimentos com ênfase nos efeitos da orientação solar na variável resposta de graus hora de resfriamento (GHR).	148
Tabela 13. Matriz de experimentos com todas as combinações entre variáveis da envoltória.	150

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Modos de operação dos elementos da edificação, por unidade habitacional.	144
Quadro 2. Operações dos elementos da edificação.	167

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
1.1	OBJETIVOS.....	29
1.1.1	Objetivo geral	29
1.1.2	Objetivos específicos.....	29
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
2.1	MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO.....	33
2.1.1	Monitoramento físico	35
2.1.2	Investigação do usuário.....	39
2.2	DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO.....	43
2.2.1	Processos estocásticos.....	45
2.2.2	Modelos de ocupação.....	47
2.2.3	Modelos de operação de janelas e persianas	50
2.2.4	Modelos de operação de sistemas de condicionamento artificial 52	
2.3	APLICAÇÃO DE MODELOS DE COMPORTAMENTO DO USUÁRIO.....	54
2.4	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE FATORES SOBRE A VARIÁVEL RESPOSTA	57
2.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO	59
3	MÉTODO	65
3.1	MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO.....	67
3.1.1	Definição do método de monitoramento.....	67
3.1.2	Elaboração do questionário	68
3.1.3	Estudo piloto do questionário.....	70

3.1.4	Aplicação do questionário	70
3.2	DESENVOLVIMENTO DE MODELO ESTOCÁSTICO DE OCUPAÇÃO	71
3.2.1	Processamento dos dados de monitoramento	71
3.2.2	Estado inicial de ocupação.....	72
3.2.3	Matrizes de probabilidade de transição	72
3.2.4	Probabilidade de presença no passo de tempo futuro	74
3.2.5	Perfis estocásticos de ocupação	76
3.2.6	Análise comparativa dos perfis de ocupação monitorados e preditos.....	78
3.3	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO COMBINADO A VARIÁVEIS DA ENVOLTÓRIA ...	78
3.3.1	Definição do objeto de estudo.....	79
3.3.2	Seleção das variáveis da envoltória e de seus níveis.	85
3.3.3	Configuração do comportamento do usuário no modelo computacional	88
3.3.4	Planejamento das simulações computacionais.....	90
3.3.5	Efeitos principais e de combinação.....	92
3.3.6	Verificação dos perfis estocásticos de ocupação	93
4	RESULTADOS	95
4.1	MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO	95
4.1.1	Operação do sistema de ar-condicionado.....	96
4.1.2	Operação de persianas e janelas	101
4.1.3	Ocupação.....	108
4.2	DESENVOLVIMENTO DO MODELO ESTOCÁSTICO DE OCUPAÇÃO	112
4.2.1	Base de dados do comportamento do usuário	112
4.2.2	Estado inicial de ocupação.....	113
4.2.3	Percentuais de usuários presentes	114
4.2.4	Probabilidade de presença no passo de tempo futuro	118
4.2.5	Perfis estocásticos de ocupação	122

4.2.6	Análise comparativa dos perfis de ocupação monitorados e preditos.....	126
4.3	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO COMBINADO A VARIÁVEIS DA ENVOLTÓRIA..	131
4.3.1	Objeto de estudo	131
4.3.2	Perfis de comportamento do usuário no modelo computacional	136
4.3.3	Projeto de experimentos	146
4.3.4	Análise dos resultados	151
4.3.5	Verificação do modelo estocástico de ocupação.....	166
5	CONCLUSÕES	171
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	174
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	175
	REFERÊNCIAS	177
	APÊNDICE A	189
	APÊNDICE B	197

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa por soluções para melhoria do desempenho termoenergético de edificações tem motivado setores público e privado a investirem no desenvolvimento de ferramentas e tecnologias. De um lado, elaboram-se ferramentas para a avaliação da eficiência energética das edificações, a exemplo dos regulamentos difundidos nacional e internacionalmente. De outro, aprimoram-se técnicas construtivas evidenciando propriedades termofísicas de materiais e suas composições.

A motivação das pesquisas reflete a preocupação sobre o impacto que as edificações exercem sobre o consumo total de energia. Dados do Balanço Nacional de Energia (EPE, 2018) apontaram que as edificações foram responsáveis por 14,5% do consumo energético total em 2017, inferior apenas aos setores industrial (32,9%) e de transporte (32,7%). A contribuição das edificações é ainda mais significativa quando analisados os dados de consumo de eletricidade, para os quais as edificações foram responsáveis por 50,8% do consumo final energético. Dentre as edificações, destacam-se aquelas de função residencial, responsáveis por 25,5% do consumo de energia elétrica (EPE, 2018). Melhorar o desempenho termoenergético das edificações residenciais torna-se primordial para reduzir o impacto do setor na matriz energética e para a preservação de recursos naturais, dentro de uma escala nacional.

A importância de estudar o desempenho das edificações remete a analisar como a energia é consumida dentro do ambiente construído e, para quais fins. Somente a partir desse conhecimento é possível pensar em formas de reduzir o consumo, por meio da otimização do projeto da edificação e de seus sistemas. Os estudos sobre o desempenho térmico e energético das edificações frequentemente abordam a influência da envoltória, afinal essa é a camada limítrofe entre o ambiente interno e externo (YIK et al., 2002; GHISI; MASSIGNANI, 2007; LIPING et al., 2007; ASTE et al., 2009; CHUA; CHOU, 2010; PEREIRA; GHISI, 2011; NGUYEN; REITER, 2012; TERÉS-ZUBIAGA et al., 2013; CICELSKY; MEIR, 2014; NIKOOFARD et al., 2014; TALEB, 2014; IOANNOU; ITARD, 2015). A busca para melhorar o desempenho da edificação por meio do projeto da envoltória incluiu a adequação às características climáticas e à orientação solar, o posicionamento e dimensionamento das áreas envidraçadas, a inserção de elementos externos de sombreamento, e principalmente, as características termofísicas dos elementos que compõem a envoltória. Inúmeras variações e combinações dos materiais que compõem paredes, coberturas, pisos e aberturas foram explorados por

meio de simulações computacionais para identificar sua respectiva influência sobre o desempenho termoenergético da edificação. O potencial para reduzir o consumo energético de uma edificação é atribuído à variável influência que determina variável ou combinação de variáveis exercem sobre o desempenho da mesma.

Contudo, toda edificação é projetada e construída para usuários. E são eles que exercem influência, ainda incerta e pouco explorada, sobre o desempenho termoenergético da edificação. Um usuário passa cerca de 80% de sua vida dentro de edificações (WAGNER; O'BRIEN; DONG, 2018). O impacto que o usuário representa estende-se além das variações sobre as cargas térmicas internas e inclui todas as interações com o ambiente construído. O comportamento do usuário é definido pelo conjunto de informações que descrevem a ocupação e as interações do usuário com os elementos da edificação, tais como sistemas de ar-condicionado, persianas e janelas.

Os estudos sobre comportamento do usuário e sua influência no desempenho termoenergético de edificações são recentes e cada vez mais relevantes à medida que a tecnologia da construção civil evolui em direção a edificações de consumo energético quase zero.

O comportamento do usuário foi apontado como fator de influência sobre a diferença encontrada entre resultados simulados e dados reais de consumo de energia nas edificações (ANDERSEN; FABI; CORGNATI, 2016; GILANI; O'BRIEN, 2016; ROETZEL, 2015; MAVROGIANNI et al., 2014). Nesse sentido, a falta de dados sobre o comportamento do usuário acarreta em sua representação simplificada nas simulações computacionais, distanciando os resultados simulados de cenários reais de uso da edificação. As simulações computacionais representam uma ferramenta fundamental para a predição do desempenho termoenergético de edificações, permitindo a inserção dos mais diversos dados de entrada. A utilização de dados de entrada adequados ao contexto de uso da edificação gera resultados simulados mais complexos e próximos da realidade da edificação. Portanto, a construção de uma base de dados sobre o comportamento do usuário configura o primeiro passo para aprimorar a compreensão da interação do usuário com o ambiente construído e, conseqüentemente, aproximar os resultados simulados de cenários reais de uso.

A obtenção de dados sobre o comportamento do usuário pode ser conduzida por meio de diferentes técnicas, com o objetivo de construir uma base de dados. Estudos sobre o monitoramento do comportamento do usuário expuseram as diferentes técnicas utilizadas, agrupando-as quanto ao emprego ou não de equipamentos de medição. Os sensores

representaram os equipamentos mais empregados no monitoramento da presença e das ações do usuário (RICHARDSON et al., 2008; CALÌ et al., 2015; ZHOU et al., 2016; CHIOU et al., 2011; AERTS et al., 2014; BLIGHT; COLEY, 2013; JIA et al., 2017; WILDE et al., 2011; HONG; RASHED-ALI, 2013; ANDERSEN et al., 2016; GUERRA-SANTIN et al., 2016). O monitoramento do comportamento do usuário por meio da aplicação de questionários foi conduzido por estudos anteriores e demonstrou ser uma técnica eficaz para coletar dados sobre as interações dos usuários com o ambiente construído (HONG et al., 2016; CHEN et al., 2015; JEONG et al., 2016; CUERDA; GONZÁLEZ, 2017; ANDERSEN et al., 2009; FENG et al., 2015; SANTIN, 2011). O monitoramento do comportamento do usuário por meio da aplicação de questionários permite investigar também as motivações para as interações, com o uso de questões abertas. Essa técnica de monitoramento do comportamento do usuário apresenta como principais vantagens o baixo custo e baixa demanda de frequência para aplicação (i.e., ao usar questões em base anual, por exemplo, o questionário pode ser aplicado apenas uma vez a cada respondente). Essas características fazem com o que o monitoramento por meio de questionários seja bastante recomendado para estudos em larga escala, uma vez que pode ser conduzido simultaneamente a vários respondentes, principalmente utilizando ferramentas online. Frente à importância da base de dados sobre o comportamento do usuário, o monitoramento por meio de questionários apresenta ainda a possibilidade de expandir os dados monitorados a qualquer momento, com a utilização do mesmo questionário.

Todas as técnicas de monitoramento apresentam incertezas, sejam relacionadas ao equipamento utilizado ou por conta de dados autorreportados pelos usuários. A seleção da técnica de monitoramento ocorre em função do objetivo do estudo. Ao monitorar o comportamento do usuário são exploradas as motivações para determinada ação do usuário, como por exemplo, fechar uma persiana. As variáveis explicativas descrevem essas motivações ao relacionar o comportamento do usuário com condições ambientais – temperatura do ar, umidade relativa – e temporais. As variáveis explicativas temporais têm importância fundamental para estudos de edificações residenciais, pois vinculam-se à rotina dos usuários.

A relação entre a variável explicativa e a ação do usuário foi utilizada para o desenvolvimento de modelos do comportamento do usuário. Os modelos desenvolvidos, de modo geral, abordaram um aspecto do comportamento do usuário, dentre os quais destaca-se a

ocupação (RICHARDSON et al., 2008; WIDÉN et al., 2009; CHIOU et al., 2011; WILKE et al., 2013; AERTS et al., 2014; TANIGUCHI et al., 2016; DIAO et al., 2017; CARLUCCI et al., 2016). Os modelos de ocupação são o cerne da modelagem do comportamento do usuário, visto que por meio deles é possível visualizar a rotina dos usuários dentro da edificação. O modelo de ocupação também atua como base para configurar outras ações do usuário, dado que diversas interações com elementos da edificação são dependentes da presença de usuário.

Existem diferentes abordagens para o desenvolvimento de modelos de comportamento do usuário, variando em termos de objetivo e complexidade. Em ordem crescente de complexidade, encontram-se: rotinas fixas, modelos não-probabilísticos, modelos estocásticos (probabilísticos) e modelos baseados em agentes (GAETANI; HOES; HENSEN, 2016).

As rotinas fixas são a forma mais simples de sintetizar o comportamento do usuário em perfis estáticos, os quais são amplamente utilizados em simulações computacionais. Os modelos probabilísticos diferenciam-se daqueles não-probabilísticos pela capacidade de criar novos perfis de comportamento do usuário a partir da base de dados, enquanto os demais, assim como as rotinas fixas, somente sintetizam e reproduzem comportamentos já observados no monitoramento. Ao explorar os dados monitorados, os modelos probabilísticos são desenvolvidos com o objetivo de prever o comportamento do usuário. Desse modo, os resultados obtidos por meio de modelos probabilísticos consistem em variações únicas representando a aleatoriedade do comportamento real do usuário, contudo, mantêm relação com os dados monitorados ao reproduzirem as tendências do comportamento da amostra.

A aplicação de modelos de comportamento do usuário em simulações computacionais tem por objetivo a predição de desempenho térmico e energético de edificações. A aplicação dos modelos utiliza os resultados obtidos para configurar o comportamento do usuário de forma mais precisa e vinculada a dados monitorados. Por meio dessa aplicação, busca-se aumentar a precisão também dos resultados da simulação, uma vez que a melhor caracterização das interações do usuário com o ambiente construído permite que as condições internas previstas tenham maior proximidade com cenários reais de uso da edificação.

Os estudos com a aplicação de modelos de comportamento do usuário foram conduzidos para analisar a influência de características específicas da edificação no seu desempenho térmico e energético (SHIMODA et al., 2007; DE MEESTER et al., 2013; KOLAITIS et al.,

2013), para otimizar algum elemento ou sistema da edificação (PISELLO; ASDRUBALI, 2014; GUERRA-SANTIN et al., 2018), para avaliar os resultados simulados em comparação com resultados de monitoramento (PENG et al., 2011; D'OCA et al., 2014; DANIEL et al., 2015), para estimar a influência do comportamento do usuário para determinada edificação (TANIGUCHI et al., 2016; BARTHELMES et al., 2017; CARPINO et al., 2017), e para avaliar a influência de uma interação específica com elemento da edificação no consumo de energia (YU et al., 2011; MAVROGIANNI et al., 2014).

Os desafios para o estudo do comportamento do usuário foram sintetizados por Yan et al. (2017) em três principais características: (1) estocástico, (2) diversificado e (3) complexo. O usuário comporta-se de maneira estocástica, ao não reproduzir as mesmas ações restritamente todos os dias e horários. A diversidade do comportamento mostra que usuários respondem diferentemente aos mesmos estímulos. E, a complexidade do comportamento do usuário aponta para a influência de fatores multidisciplinares (YAN et al., 2017).

O desenvolvimento e aplicação de modelos probabilísticos de comportamento do usuário para edificações residenciais multifamiliares apresenta enorme potencial para se aproximar da representação de cenários reais de uso. Ao utilizar os perfis de comportamento do usuário para configurar as diferentes unidades habitacionais do pavimento tipo de uma edificação residencial multifamiliar contribui-se para compreender como as interações do usuário com o ambiente construído podem influenciar o desempenho termoenergético.

As edificações residenciais apresentam desafios adicionais ao estudo do comportamento do usuário, em comparação com edificações de escritório. Dificuldades no monitoramento, preocupações com privacidade, baixa participação dos respondentes são algumas das dificuldades iniciais ao estudo de comportamento do usuário em edificações residenciais. Adicionalmente, o comportamento do usuário em edificações residenciais demonstra maior variação de ações, horários e duração da ocupação. Por não se restringir às horas de trabalho, a ocupação em edificações residenciais ocorre com maior diversidade de horários, além de apresentar variações em função do dia da semana. O aspecto privado da edificação residencial permite ao usuário maior liberdade para interagir com elementos da envoltória, o que reflete em maior variação dos estados de operação de janelas, persianas e sistemas de ar-condicionado. Soma-se a isso o fato de que em edificações residenciais, o comportamento do usuário distribui-se em todos os

ambientes de longa permanência, ao oposto de restringir-se a um único espaço, como ocorre em edificações de escritório.

Em um estudo conduzido por Sorgato (2015), as edificações residenciais multifamiliares foram apontadas como mais suscetíveis à influência do comportamento do usuário, em comparação com edificações residenciais unifamiliares. As edificações residenciais multifamiliares representam 11% dos domicílios brasileiros (IBGE, 2018). Apesar de não constituírem a maior parcela do estoque construído, as edificações residenciais multifamiliares são a tipologia mais expressiva no contexto de centros urbanos. Para as regiões territoriais Sul e Sudeste, os apartamentos representam, respectivamente, 12% e 14% dos domicílios totais. Os dados obtidos para os centros urbanos dessas regiões mostram maior presença de edificações multifamiliares. Em Florianópolis, 27% dos domicílios são representados por apartamentos. Esse valor é ainda superior (30%) quando considerado o núcleo metropolitano de Florianópolis. Percentuais semelhantes são observados para as cidades de Porto Alegre (23%) e São Paulo (21%) (IBGE, 2018).

Para estudos do comportamento do usuário, as edificações residenciais multifamiliares representam um objeto de estudo ainda mais interessante ao propiciar que o comportamento do usuário seja configurado diferentemente para cada unidade habitacional, de modo que sua influência possa ser analisada em escalas crescentes – unidade habitacional, pavimento tipo, edificação completa.

Ao utilizar os dados monitorados para o desenvolvimento de modelos do comportamento do usuário, mantém-se relação com fatores contextuais, tais como cultura, clima, tipo e função da edificação. A aplicação dos modelos de comportamento do usuário deve ser feita dentro do mesmo contexto. Assim, demonstra-se a necessidade de desenvolver modelos de comportamento do usuário para a realidade brasileira de uso das edificações residenciais.

Com conhecimento aprofundado sobre as interações entre usuário e ambiente construído torna-se possível pensar o projeto da edificação sob nova abordagem. Para que a análise do desempenho termoenergético da edificação seja completa, é importante conhecer as variáveis que exercem maior influência. Nesse sentido, a análise da influência do comportamento do usuário foi proposta de forma combinada a variáveis da envoltória.

O modelo de comportamento do usuário consiste em uma ferramenta que pode ser explorada em diversas aplicações, desde que mantida a relação de mesmo contexto da base de dados monitorados. O desenvolvimento de um modelo de comportamento do usuário para a

realidade brasileira representa importante contribuição para estudos sobre o desempenho termoenergético das edificações residenciais multifamiliares, ao fornecer uma ferramenta, ainda inédita nesse contexto, para representar de forma mais fidedigna as interações entre usuário e ambiente construído.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método estocástico de ocupação para estudo da influência do comportamento do usuário combinado a variáveis da envoltória no desempenho térmico e energético de edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis – SC.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos pretendidos com este trabalho são:

- Monitorar o comportamento do usuário relacionado à ocupação, operação de janelas, operação de persianas e operação de sistema de ar-condicionado, em edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis – SC;
- Criar uma base de dados sobre o comportamento do usuário em edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis – SC;
- Investigar as variáveis explicativas do comportamento do usuário em edificações residenciais multifamiliares;
- Aplicar o modelo estocástico de ocupação desenvolvido em análise do desempenho térmico e energético de um objeto de estudo.
- Verificar os perfis estocásticos de ocupação quanto à reprodução das principais tendências do comportamento do usuário.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução ao tema da tese, a justificativa para o seu desenvolvimento e os objetivos geral e específicos. A revisão bibliográfica sobre o comportamento do usuário em edificações residenciais é apresentada no segundo capítulo. O comportamento do usuário é abordado na revisão bibliográfica em três principais enfoques,

criando o embasamento teórico para toda a construção do tema, do monitoramento do comportamento do usuário por meio de diferentes abordagens até a aplicação de modelos do comportamento em simulações computacionais. A revisão apresentou diferentes métodos, probabilísticos e não-probabilísticos, para o desenvolvimento de modelos de comportamento do usuário e as principais características de seus produtos finais.

O terceiro capítulo apresenta o método desenvolvido para alcançar os objetivos do trabalho. Nesse capítulo são descritas as etapas realizadas para (1) o monitoramento do comportamento do usuário, (2) o desenvolvimento de modelo estocástico de ocupação e (3) a aplicação do modelo estocástico em simulações computacionais.

Os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do trabalho são apresentados no quarto capítulo. Inicialmente são apresentados os resultados obtidos para o monitoramento do comportamento do usuário e subsequente elaboração de uma base de dados. Os resultados obtidos com o desenvolvimento e simulação do modelo estocástico de ocupação são apresentados na sequência. Ao final do capítulo, são apresentados os resultados para a análise da influência do comportamento do usuário combinado a variáveis da envoltória, obtidos pela aplicação do modelo estocástico em simulações computacionais de um objeto de estudo.

No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões da tese, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de energia nas edificações é influenciado por seis parâmetros identificados pela International Energy Agency - Energy in the Buildings and Communities Program (IEA-EBC) Annex 53: (1) clima, (2) envoltória da edificação, (3) sistemas consumidores e de serviço da edificação, (4) critério de projeto para o interior da edificação, (5) operação e manutenção, e (6) comportamento do usuário (YOSHINO; HONG; NORD, 2017). Enquanto diversos pesquisadores exploraram a maioria dos parâmetros, estudos sobre o comportamento do usuário são mais recentes. Além disso, o comportamento do usuário tem sido atribuído a diferenças encontradas entre o desempenho real e predito de edificações. Simulações do desempenho da edificação são alternativas de alta eficiência e baixo custo para analisar e otimizar o projeto e os sistemas da edificação; e é de fundamental importância que dados de entrada precisos estejam disponíveis. Simulações de desempenho de edificações implementadas com modelos de comportamento do usuário têm o potencial de fornecer dados de saída em concordância com o real uso de energia nas edificações. Portanto, aprimorar o conhecimento sobre o comportamento do usuário é primordial para a avaliação do seu impacto no desempenho geral da edificação.

O comportamento do usuário é definido pelas interações entre homem e edificação, relacionadas com o uso de energia, i.e., pode ser descrito pela ocupação e pela operação dos elementos e sistemas, tais como operação de aberturas, persianas, sistemas de iluminação e sistemas de condicionamento artificial. De acordo com IEA-EBC Annex 66, a relação entre comportamento do usuário e consumo de energia é atribuída à busca por conforto ambiental (YAN; HONG, 2014).

Ocupação e interações com os elementos da edificação são influenciados por variáveis em três principais categorias: relacionadas ao ambiente, relacionadas ao tempo e aleatórias. As variáveis relacionadas ao ambiente incluem um aspecto físico relativo às características da edificação e de sua localização. Orientação solar, envoltória, layout da edificação e clima local são alguns exemplos de variáveis relacionadas ao ambiente. As variáveis relacionadas ao tempo compreendem a rotina dos ocupantes. Dessa forma, a ocupação e as interações com elementos da envoltória podem variar de acordo com a hora do dia e dia da semana. O comportamento do usuário associa-se ainda a variáveis multidisciplinares que incluem além das adaptações físicas, variáveis culturais e psicológicas do usuário frente a determinado estímulo do ambiente (YAN et al., 2017). Variáveis psicológicas raramente são consideradas em

estudos sobre o comportamento do usuário relacionado ao uso de energia devido a dificuldades em quantificá-las e monitorá-las. A falta de conhecimento sobre as variáveis psicológicas do comportamento do usuário foi apontada por Yan et al. (2017) como um desafio para o estudo multidisciplinar do tema.

O aumento da presença de tecnologia e sistemas automatizados nas edificações têm aproximado as interações entre usuários e o ambiente construído, enfatizando a importância de representar o comportamento do usuário em simulações do desempenho de edificações. A propósito, o conceito de casas inteligentes usa a Internet das Coisas (IOT, do inglês, Internet of things) para controlar sistemas automatizados como termostatos, alarmes e sensores, câmeras de segurança, travas de portas, dimerizadores de iluminação. A informação sobre o comportamento do usuário é essencial para o sucesso desse conceito, uma vez que depende de aprender as preferências e rotina dos usuários. A implementação do conceito human-in-the-loop em inovações nas edificações permite que os usuários participem como controladores ativos e sensores passivos (D'OCA; HONG; LANGEVIN, 2018).

Uma configuração comum para as simulações de desempenho das edificações consiste em assumir características determinísticas para o comportamento do usuário, representando-o, por exemplo, por rotinas estáticas. Entretanto, o real comportamento do usuário procede de modo estocástico, no qual a ocupação e as ações desenvolvem-se com o tempo e, não seguem uma rotina repetitiva. Em função disso, estudos recentes têm focado no desenvolvimento de modelos estocásticos de comportamento do usuário e sua implementação em simulações de desempenho de edificações.

O desenvolvimento de modelos de comportamento do usuário baseia-se em resultados de monitoramento de edificações em uso. As abordagens para monitoramento do comportamento do usuário podem ser distinguidas em função de sua proximidade com o indivíduo. Por exemplo, monitoramento a partir de aplicação de questionários requer contato direto com o usuário e os dados coletados incorporam certa subjetividade que reflete essa proximidade. Enquanto monitoramento com equipamentos permite que o pesquisador se distancie do usuário, reduzindo a subjetividade dos resultados monitorados, contudo acrescentando incerteza relacionada ao equipamento.

Diferentes técnicas de monitoramento têm sido usadas para o desenvolvimento de uma gama de modelos de comportamento do usuário, os quais variam em complexidade, podendo ser agrupados em rotinas estáticas, modelos baseados em regras e modelos estocásticos.

A maioria dos estudos sobre comportamento do usuário focou em edificações de escritório. Edificações residenciais são caracterizadas por diversidade em horas de ocupação e atividades, o que representa um aumento de complexidade para o monitoramento e modelagem do comportamento do usuário. No entanto, a maior diversidade comportamental em edificações residenciais também representa ampla oportunidade para explorar as variáveis que influenciam o comportamento do usuário e, com isso, aprimorar a precisão de seus dados de entrada em simulações de desempenho da edificação. A aplicação de modelos estocásticos de comportamento do usuário em simulações de desempenho da edificação proporciona importantes perspectivas sobre como diferentes unidades habitacionais se comportam, considerando dados precisos da interação entre usuário e ambiente construído. Essa informação abre possibilidade para otimização do projeto e dos sistemas da edificação visando maximizar eficiência energética e conforto ambiental.

Esta revisão bibliográfica apresenta uma visão geral sobre o comportamento do usuário relacionado a simulações de desempenho de edificações residenciais. O comportamento do usuário foi abordado de acordo com três principais enfoques: monitoramento para obter informações relevantes, desenvolvimento de modelos de comportamento do usuário e aplicação desses modelos com simulações de desempenho de edificações.

2.1 MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

O monitoramento do comportamento do usuário compreende a coleta de informações adequadas sobre a ocupação e a operação de janelas, persianas, sistema de iluminação e sistema de condicionamento artificial.

Em geral, o comportamento do usuário foi monitorado com diferentes propósitos, desde a identificação de padrões típicos ao desenvolvimento de modelos estocásticos de ocupação e interações com elementos da edificação. Além disso, explorar a influência do comportamento do usuário no consumo de energia da edificação e identificar variáveis que influenciam o comportamento do usuário estão entre os principais propósitos para conduzir monitoramentos. Ainda que os propósitos dos monitoramentos geralmente foquem em uma interação específica do usuário com o ambiente construído, os métodos de coleta de dados podem extrair informações de vários aspectos do comportamento do usuário. O monitoramento do comportamento do

usuário conduzido por estudos anteriores com frequência incluiu a ocupação juntamente às interações com elementos da edificação, e.g. janelas, persianas, sistemas de iluminação e de condicionamento artificial.

A identificação de padrões típicos ou de uma faixa de variação dos padrões tem sido utilizada para implementar simulações de desempenho da edificação com dados estáticos de comportamento do usuário. Padrões de operação de janelas em uma edificação residencial no Chile foram obtidos como resultado de monitoramento por meio de aplicação de questionários (PINO; DE HERDE, 2011). Os padrões de operação das janelas configuraram estratégias de ventilação usadas no verão e no inverno por parte dos usuários. O monitoramento do comportamento do usuário conduzido por Andersen et al. (2009) resultou na identificação de padrões de operação de janelas, persianas, sistema de iluminação e de aquecimento em residências na Dinamarca. Os padrões obtidos por meio de regressão logística permitiram identificar variáveis ambientais externas que influenciaram o comportamento do usuário. Em outro estudo, os resultados de um longo monitoramento da operação do sistema de aquecimento de quatro residências foram utilizados para explorar a influência do comportamento do usuário no consumo de energia da edificação ao comparar os resultados monitorados de residências com e sem ocupação (EMERY; KIPPENHAN, 2006).

O estudo conduzido por Fabi; Andersen; Corgnati (2015) investigou variáveis que influenciam o comportamento do usuário. As variáveis foram classificadas entre internas e externas e sua influência sobre o comportamento do usuário foi descrita pelo desencadear de uma reação, e.g. fechar uma janela. Regras condicionais que sintetizam a relação entre uma variável de influência e uma interação com elementos da edificação são uma alternativa para implementar as simulações de desempenho da edificação com informações sobre os gatilhos do comportamento do usuário. Uma operação baseada em regras foi utilizada por Bălan et al. (2011) em simulações de um modelo térmico de uma residência, para o qual a influência da ocupação foi determinada como um dado de carga térmica secundário, portanto, impactando a carga térmica interna.

Uma revisão das variáveis que influenciam as interações do usuário foi proposta em Stazi; Naspi; D’Orazio (2017) como forma de descrever o comportamento do usuário. Nessa avaliação, assim como previamente conduzido por Peng et al. (2011), as variáveis caracterizaram três categorias de ações do usuário: relacionadas ao ambiente, relacionadas ao tempo e aleatórias. De acordo com essa classificação, o

primeiro tipo de interações entre usuário e elementos da edificação refere-se à busca por conforto ambiental. Interações relacionadas ao tempo representam a rotina e os hábitos dos usuários. Interações aleatórias não podem ser sintetizadas em regras condicionais, pois não apresentam uma relação direta com variáveis externas. As variáveis de influência relacionadas ao controle de janelas e persianas foram o foco de múltiplos estudos sobre o comportamento do usuário. As variáveis explanatórias que conduzem à abertura e ao fechamento de janelas em edificações residenciais na Dinamarca foram identificadas, separadamente, por Andersen et al. (2013). Em um estudo conduzido por Calì et al. (2016), o foco foi dado apenas à abertura das janelas.

Nos estudos conduzidos por Fabi et al. (2015) e por Fabi; Andersen; Corgnati (2015), o monitoramento do comportamento do usuário teve como propósito a verificação da precisão dos modelos desenvolvidos para controle das janelas e do termostato. A comparação entre os resultados reais monitorados e os resultados de simulações da edificação mostrou que os modelos reproduziram tendências gerais do comportamento do usuário. Contudo, o desenvolvimento de modelos matemáticos é o propósito mais frequente para monitoramentos do comportamento do usuário.

Para alcançar cada propósito do monitoramento do comportamento do usuário, diferentes métodos foram empregados. As abordagens para o monitoramento foram divididas por Yan et al. (2015) em três grupos principais: estudos observacionais, pesquisas e entrevistas, e estudos de laboratório. A divisão proposta reflete as técnicas usadas para monitorar o comportamento do usuário. Para Guerra-Santin e Tweed (2015), as abordagens de monitoramento classificam-se em: monitoramento físico e investigação do usuário. Monitoramento físico baseia-se no uso de equipamentos para rastrear ocupação e ações dentro da edificação, enquanto a investigação do usuário baseia-se na aplicação de questionários, diários, observação e entrevistas. Uma divisão mais simples poderia agrupar os estudos de acordo com o uso ou não de equipamentos para monitorar a ocupação e as interações com elementos da edificação.

2.1.1 Monitoramento físico

O monitoramento físico compreende os métodos de monitoramento do comportamento do usuário com equipamento. Além disso, essa categoria inclui um segmento relativo ao monitoramento do comportamento adaptativo, no qual informações tanto sobre o

comportamento do usuário quanto condições ambientais são coletadas para investigar as relações entre os dois grupos de dados.

O uso de equipamentos para monitorar o comportamento do usuário gera dados objetivos, uma vez que o método permite um distanciamento entre pesquisador e respondente. Os resultados monitorados derivam do equipamento, geralmente representado por sensores. Assim, os resultados monitorados podem representar o comportamento real (e.g. hora de ocupação) ou dados brutos (e.g. concentração de dióxido de carbono). No segundo caso, para indicar um certo comportamento, os resultados precisam ser interpretados com um algoritmo, por exemplo, a concentração de dióxido de carbono pode indicar a presença de usuários (CALÌ et al., 2015).

As diferentes tecnologias disponíveis para monitorar o comportamento do usuário foram categorizadas por Wagner; O'Brien; Dong (2018) em: baseado em imagem, mecânicas, sensores de movimento, baseado em rádio, human-in-the-loop, e sensores de consumo. Além disso, os autores proporcionaram parâmetros para a avaliação de cada sistema.

O monitoramento baseado em imagem envolve questões sobre a privacidade dos usuários. Assim, exemplos dessa abordagem foram verificados somente para edificações de escritório, por meio de fotografias da fachada a fim de monitorar a operação de persianas (YAO, 2014), e uso de vídeos de um ambiente para obter informações de ocupação (INYIM et al., 2014).

Sensores mecânicos incluem tecnologias como sensor magnético, cartão de acesso para portas, tapetes piezoelétricos e raio infravermelho (WAGNER; O'BRIEN; DONG, 2018). No monitoramento da operação de janelas, Cali et al. (2016) utilizaram um conjunto de interruptor magnético e ímãs fixos. O primeiro foi instalado no caixilho da janela, enquanto o segundo foi instalado no painel móvel. Combinados, o sistema de monitoramento permitiu a coleta de dados da posição da janela. Dois tipos de sistemas de monitoramento foram empregados com o propósito de modelar o comportamento do usuário referente ao controle de janelas e identificar as variáveis de influência que conduzem a uma interação com esse elemento da edificação.

Sensores de movimento foram extensamente utilizados para monitorar a ocupação. Essa tecnologia não implica no mesmo nível de preocupação com a privacidade, uma vez que a identidade dos usuários é preservada. Esse tipo de sensor coleta informações da movimentação dos usuários. Em contrapartida, uma atividade estática pode ser interpretada

como uma ausência. Uma leitura precisa requer um campo de visão livre, o que pode ser complicado para certos layouts.

Sensores baseados em rádio têm sido cada vez mais explorados devido à disseminação de smartphones. Ao utilizar WiFi, Bluetooth ou GPS (do inglês, Global Positioning System) torna-se possível contabilizar e localizar os usuários em uma edificação. De acordo com Yang; Santamouris; Lee (2016), contabilizar os usuários e localizá-los no espaço interno de uma edificação são os principais objetivos dos sensores usados no monitoramento da ocupação. Em um monitoramento experimental conduzido por Zhou et al. (2016), informações da operação do sistema de condicionamento artificial foram coletadas usando um sensor terminal, uma porta WiFi e um aplicativo instalado nos celulares dos usuários. Com isso, foi possível monitorar não apenas a operação de ligar e desligar o sistema de condicionamento artificial, mas também a temperatura e umidade relativa do ambiente. O equipamento foi instalado em três dormitórios. Os resultados monitorados foram utilizados no desenvolvimento de regras condicionais do comportamento do usuário.

O monitoramento human-in-the-loop concentra-se em coletar informações das interações dos usuários com a tecnologia presente no ambiente construído, tais como configurações de termostato, sistemas de iluminação e dimerização, operação de persianas motorizadas e até dados de Internet. O último item carrega preocupação quanto à privacidade e à garantia de segurança de informações sensíveis.

O monitoramento do comportamento do usuário por meio de sensores de consumo baseia-se na interpretação dos dados de consumo de energia. Desse modo, os resultados de pesquisas de usos finais de energia foram amplamente utilizados para inferir sobre ocupação e uso de eletrodomésticos em edificações. Essas amplas bases de dados são especialmente úteis para investigações do comportamento do usuário em larga escala. Uma pesquisa de usos finais de energia conduzida em edificações residenciais no Reino Unido obteve informações com resolução de 10 minutos sobre a presença de ocupantes ativos, bem como o uso de energia e perfis de carga. Os resultados da pesquisa britânica foram usados por Richardson; Thomson; Infield (2008) para produzir dados sintéticos de ocupação com uma cadeia de Markov de primeira ordem. O modelo resultante foi capaz de gerar perfis estocásticos de ocupação. De modo semelhante, Chiou et al. (2011) utilizaram um monitoramento de larga escala conduzido nos Estados Unidos para desenvolver modelos de comportamento do usuário, particularmente, de uso de energia. Os resultados da pesquisa americana foram usados por meio de amostragem do tipo bootstrap para obter padrões de atividade.

Em outro estudo, os resultados da pesquisa belga de usos finais de energia foram usados por Aerts et al. (2014) para desenvolver um modelo probabilístico de ocupação para edificações residenciais. Os resultados monitorados de ocupação, uso de eletrodomésticos e abertura de portas em residências do Reino Unido, com resolução de 10 minutos, foram usados por Blight e Coley (2013) para criar perfis semanais para um modelo térmico de edificação do tipo Passivhaus.

Todas as tecnologias disponíveis para o monitoramento do comportamento do usuário apresentam alguma incerteza, a qual pode estar relacionada ao posicionamento do equipamento ou até a uma limitação de sua precisão. Monitorar o comportamento do usuário com equipamentos requer atenção à manutenção dos mesmos e ao posicionamento do cabeamento. Cabos visíveis podem influenciar o comportamento do usuário, atuando como um lembrete aos usuários de que suas ações estão sendo monitoradas. Sensores sem fio oferecem uma alternativa para reduzir a influência que os cabos e a posição podem exercer sobre o comportamento do usuário (JIA; SRINIVASAN; RAHEEM, 2017). Esse tipo de sensor pode conectar-se com uma rede de distribuição para coletar dados de diferentes pontos em uma mesma edificação. Soma-se ainda a triangulação, ou seja, a comparação de dados coletados por meio de diferentes métodos, descrita por Guerra-Santin e Tweed (2015) como uma forma de superar algumas das incertezas associadas ao monitoramento com equipamento.

O uso de abordagem mista, com a combinação de diferentes equipamentos ou inclusão de aplicação de questionários foi um meio apontado para aprimorar a precisão dos resultados monitorados. O comportamento do usuário relacionado à operação de janelas e de sistema de condicionamento artificial em edificações residenciais foi monitorado por Wilde et al. (2011). A abordagem utilizada combinou aplicação de questionário com uso de equipamento. O questionário foi usado para coletar informações sobre os hábitos referentes às interações com os elementos da edificação, tais como janelas, sistema de condicionamento artificial e ventiladores elétricos. Foram utilizados sensores magnéticos de proximidade para monitorar o estado da janela, variando entre aberta e fechada. Equipamentos também foram empregados para monitorar as condições ambientais internas e externas. Os resultados monitorados foram obtidos para sala de estar e dormitório das residências. Em um estudo de Hong e Rashed-Ali (2013), as informações do comportamento do usuário foram coletadas usando múltiplas fontes, tais como códigos de energia de edificações, dados de senso e pesquisa. A proposta do estudo foi comparar o consumo de energia de duas residências na China e nos

Estados Unidos. Foram necessários padrões residenciais de uso de energia para cada tipologia residencial dominante dos países em estudo. Para isso, uma pesquisa foi conduzida para complementar informações com a inclusão de questões sobre operação dos sistemas de aquecimento e resfriamento, operação do sistema de iluminação, uso de eletrodomésticos e uso de água quente.

Equipamentos foram utilizados por Andersen; Fabi; Corgnati (2016) para monitorar as condições internas de cinco apartamentos, enquanto os dados de condições externas foram obtidos por meio da estação meteorológica mais próxima. Além disso, um questionário foi aplicado para completar as informações coletadas durante o monitoramento. O questionário focou no comportamento do usuário relacionado à operação do sistema de aquecimento, uso de eletrodomésticos e ocupação. Os resultados monitorados foram utilizados para desenvolver perfis de ocupação, posteriormente aplicados em simulações de desempenho da edificação. A abordagem mista conduzida por Guerra-Santin et al. (2016) combinou o monitoramento de dados objetivos e subjetivos. Os dados objetivos incluíram condições ambientais internas e externas, consumo de energia, nível de iluminação e movimentação. Os dados subjetivos compreenderam as respostas fornecidas pelos usuários sobre ocupação, conforto térmico, operação do sistema de aquecimento e atitudes em prol de economia de energia. Sensores foram utilizados para monitorar os dados objetivos. Os dados subjetivos foram coletados durante o mesmo período por meio da aplicação de questionários e entrevistas. A aplicação de questionários em residências na Dinamarca sobre operação de janelas juntamente com monitoramento das condições ambientais foi conduzido por Andersen et al. (2013). O monitoramento misto foi realizado com o objetivo de desenvolver um modelo de operação de janelas e, concomitantemente investigar a relação entre as condições internas e a abertura/fechamento das janelas. Essa combinação de abordagens permitiu um monitoramento completo da edificação.

2.1.2 Investigação do usuário

Investigação do usuário é a denominação atribuída por Guerra-Santin e Tweed (2015) para designar os métodos de monitoramento do comportamento do usuário baseados em dados autorreportados. Alguns dos métodos usados nessa abordagem incluem aplicação de questionário, diários, observações e entrevistas. A investigação do usuário é recomendada para a obtenção de informações sobre as intenções e motivos para as interações entre usuário e os elementos da edificação,

dada à ativa participação dos respondentes durante o monitoramento. Além disso, a investigação do usuário possibilita que informações não mensuráveis, tais como sensação térmica e nível de isolamento da vestimenta, sejam obtidas (WAGNER; O'BRIEN; DONG, 2018).

A aplicação de questionários é o método mais frequentemente utilizado para monitoramento baseado em dados autorreportados. A aplicação de questionários permite que o comportamento do usuário seja monitorado de forma pouco intrusiva e coletando informações em múltiplos níveis, incluindo motivação pessoal para ações específicas (HONG et al., 2016). O comportamento do usuário foi monitorado em três níveis de complexidade por Chen et al. (2015). Os resultados monitorados forneceram dados de entrada para o comportamento do usuário para diferentes propósitos, de acordo com o seu nível de complexidade. O monitoramento foi conduzido por meio da aplicação de questionário seguido de entrevistas em edificações residenciais em Changsha, China. No primeiro nível, foram monitorados o uso de eletrodomésticos e a quantidade de horas de ocupação. No nível de maior complexidade, a fração horária da ocupação nominal foi coletada, assim como informações sobre a operação de janelas e persianas. O último nível também foi complementado com dados anuais de monitoramento do uso de eletrodomésticos em uma residência selecionada.

Pesquisas foram definidas como um método econômico para monitorar o comportamento do usuário em larga escala (WAGNER; O'BRIEN; DONG, 2018). Embora o foco da aplicação de questionário seja coletar informações quantitativas sobre o comportamento do usuário, o uso de questões abertas pode também obter a percepção e as preferências dos usuários relacionadas aos elementos da edificação. Em contrapartida, a ausência de equipamentos durante o monitoramento do comportamento do usuário reflete em falta de informações contextuais (e.g. condições ambientais). Em vista disso, uma abordagem mista foi empregada por Jeong; Jeong; Park (2016) para monitorar o comportamento do usuário utilizando medições das condições internas e externas em conjunto com aplicação de questionário. O monitoramento conjunto foi conduzido em 20 apartamentos em Seul e focou na operação de janelas. As condições ambientais monitoradas proporcionaram informações para a análise das variáveis que influenciam a abertura e fechamento da janela da sala de estar. O questionário obteve informações sobre as atividades diárias, os motivos para a operação da janela e a sensação térmica em escala sétima. A partir dos resultados, foi encontrada uma relação entre a operação de janelas e as atividades diárias dos usuários. Entrevistas com os moradores para coletar dados sobre suas

atividades diárias e estilo de vida foram conduzidas por Cuerda e González (2017). As entrevistas consistiram em questões semiabertas sobre os hábitos dos usuários e suas interações com os sistemas de aquecimento e ventilação. Além disso, foram coletadas informações sobre a presença dos usuários e o uso dos espaços dentro do apartamento. As informações qualitativas do comportamento do usuário foram trianguladas com resultados monitorados de um leitor wireless de energia, o qual obteve dados de consumo de energia individual dos apartamentos. Os resultados monitorados foram utilizados para desenvolver padrões de ocupação em perfis de 24 horas para os dias úteis e de 48 horas para os finais de semana.

Os resultados de monitoramento autorreportado estão sujeitos à parcialidade do respondente. A subjetividade das informações coletadas diretamente com o usuário está relacionada a questões levantadas por Yan et al. (2015). Ao responder a um questionário ou a uma entrevista, o usuário pode deturpar a representação do comportamento devido à falta de memória, quando requisitado a preencher rotinas relacionadas com comportamento ao longo das estações ou do ano. O efeito Hawthorne e a conveniência social foram reportados como influenciadores das respostas fornecidas pelos usuários (WAGNER; O'BRIEN; DONG, 2018). No primeiro, o respondente pode mascarar o comportamento ao estar ciente de que está sendo observado. No segundo, as respostas fornecidas podem representar um comportamento desejado e não o real.

Para transpor questões de parcialidade e interpretação, as questões devem ser cuidadosamente desenvolvidas, priorizando uma estrutura de frases completas, palavras diretas e múltipla escolha (WAGNER; O'BRIEN; DONG, 2018). As questões de múltipla escolha aumentam a granularidade de forma a melhorar o entendimento, por exemplo, ao questionar sobre conforto térmico, visual e acústico separadamente ao invés de usar uma única questão envolvendo conforto ambiental.

A aplicação de questionário foi empregada por Andersen et al. (2009) para monitorar o comportamento do usuário em residências na Dinamarca, previamente selecionadas de modo a representar o estoque construído. Com o questionário, foram coletadas informações sobre o estado presente dos elementos da edificação (janelas, persianas, sistemas de iluminação e de aquecimento) e a operação desses elementos durante as duas semanas anteriores. O questionário foi disponibilizado online e impresso, dependendo do acesso à Internet de cada respondente.

A aplicação de questionário foi usada por Feng; Yan; Wang (2015) para monitorar a operação de janelas e do sistema de condicionamento artificial em salas e dormitórios de edificações residenciais. Mais de 500

respostas foram obtidas sobre abertura e fechamento das janelas. Os resultados monitorados foram usados para desenvolver um padrão típico a partir da ampla amostra.

Em comparação com edificações de escritório, o monitoramento do comportamento do usuário em edificações residenciais apresenta desafios adicionais, frequentemente relacionados a questões de privacidade e envolvimento dos usuários. O monitoramento do comportamento do usuário em edificações residenciais deve buscar métodos que preservem a identidade do usuário e protejam informações sensíveis. Monitorar com uso de equipamento deve ser feito com adicional atenção ao seu posicionamento, visto que um equipamento visível pode influenciar o comportamento do usuário.

Em edificações residenciais, os usuários apresentam maior variedade de atividade, o que agrega maior complexidade à execução do monitoramento. Por exemplo, equipamentos como sensores de movimento foram suficientes para monitorar atividades em uma edificação de escritórios, distinguindo entre presença e ausência de usuários. Em edificações residenciais, a maior gama de atividades desempenhadas pelos usuários representa maior variação de taxa metabólica que para serem efetivamente monitoradas demandam maior detalhamento dos estados de ocupação. Uma alternativa com três estados para a ocupação foi proposta por Widén; Nilsson; Wäckelgård (2009) ao acrescentar uma variação entre usuário presente e ativo, e usuário presente e inativo.

Além disso, a ocupação e as interações com elementos da edificação ocorrem em diferentes espaços nas edificações residenciais. Em contraste, o comportamento do usuário em edificações de escritório é resumido a um único espaço. Monitorar a movimentação dos usuários em edificações é um aspecto complexo, ainda a ser explorado em estudos sobre o comportamento do usuário em edificações residenciais.

Com exceção das pesquisas de usos finais de energia, os resultados de monitoramento em edificações residenciais restringiram-se a poucos usuários. Dentre as dificuldades de conduzir monitoramento em larga escala em edificações residenciais inclui-se a baixa taxa de resposta aos questionários, baixa aceitação quanto à instalação de equipamentos de monitoramento e dificuldade de acesso aos equipamentos para manutenção. Em um estudo conduzido por Santin (2011) na Holanda, as características do comportamento do usuário e da edificação foram levantadas com o uso de questionário impresso. A taxa de resposta de tal monitoramento foi de 5%. O baixo envolvimento dos respondentes foi

atribuído ao desconforto em fornecer informações pessoais, além do comprimento e detalhamento do questionário.

A fim de transpor as questões de privacidade e aumentar o envolvimento dos usuários no monitoramento em edificações residenciais, os métodos selecionados devem estar eticamente apoiados. Padrões éticos em estudos do comportamento do usuário são fundamentais para proteger os respondentes (i.e. privacidade, direitos e benefícios) e para estabelecer validade científica ao estudo (WAGNER; O'BRIEN; DONG, 2018).

Independente da abordagem de monitoramento, os resultados obtidos possuem relação direta com fatores contextuais, tais como o projeto da edificação, a cultura e o clima. Esses fatores contextuais são implícitos das informações coletadas, como observado por Yan et al. (2015), e permanecem como uma questão não resolvida do monitoramento. A relação entre o comportamento do usuário monitorado e os fatores contextuais impede a extrapolação dos resultados para contextos diferentes.

2.2 DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

Os modelos do comportamento do usuário foram classificados a partir de suas principais características. Assim, podem ser divididos de acordo com seu objeto de estudo, tal como realizado por Stazi; Naspi; D'Orazio (2017), no qual os modelos foram agrupados em: ocupação e interações com elementos da edificação (e.g. janelas, persianas, termostatos). A complexidade dos modelos foi considerada por Gaetani; Hoes; Hensen (2016) para classificar as abordagens em: rotinas fixas, modelos baseados em dados (não-probabilísticos), modelos estocásticos (probabilísticos) e modelos baseados em agentes.

O aumento da complexidade dos modelos levou a abordagem proposta por Gaetani; Hoes; Hensen (2016) de ajustar o modelo ao seu propósito, assim diversos fatores são considerados na seleção da técnica adequada de modelagem. A seleção deve considerar fatores relacionados ao objeto de simulação, ao objetivo da simulação, aos indicadores de desempenho, às interações entre objeto e usuário e ao clima. Essa abordagem foi proposta em resposta à tendência de incluir todas as informações disponíveis e sobrecarregar o modelo.

De acordo com Yan et al. (2015), a identificação do objetivo do modelo deve preceder o seu desenvolvimento, de forma a ajustar adequadamente a complexidade necessária. Além disso, a resolução do

modelo deve ser definida em função da precisão na qual o tempo dos eventos, a escala física e a ocupação serão modelados. O objetivo do modelo deve conduzir à técnica de modelagem e à complexidade adequadas.

A maioria das técnicas de modelagem combina os dados obtidos com o monitoramento do comportamento do usuário durante o desenvolvimento do modelo e com isso, o modelo resultante representa um usuário médio dentro dos dados coletados. Em contrapartida, um método de modelagem proposto por Haldi et al. (2016) usou uma generalização na estimação das probabilidades de modo a considerar a diversidade dos usuários no modelo estocástico.

Rotinas fixas são a forma mais simples de integrar informações do comportamento do usuário em simulações de desempenho da edificação. As rotinas são obtidas por meio de análise estatística dos resultados de monitoramento. Análises de agrupamento, por exemplo, têm sido usadas para a identificação de padrões do comportamento do usuário, os quais posteriormente são utilizados como dados de entrada em simulações do desempenho de edificações (AERTS et al., 2014; DIAO et al., 2017; SANTIN, 2011).

Regressão logística multivariada foi uma técnica recorrente usada em modelos baseados em regras condicionais para extrair informações sobre a relação entre o comportamento do usuário e o tempo ou condições ambientais. Ao usar regressão logística, os coeficientes resultantes são analisados para identificar as principais variáveis de influência de um determinado comportamento. O sinal, o tamanho e a escala dos coeficientes são avaliados. Ademais, modelos baseados em regras condicionais mantêm-se dependentes dos dados coletados originais. Dessa forma, modelos baseados em regras condicionais não são capazes de criar novos padrões de comportamento, apenas sintetizar o comportamento conhecido.

Modelos estocásticos são desenvolvidos baseados na probabilidade de mudança de um estado. Por exemplo, um estado pode ser representado pela presença de um usuário, por uma janela aberta ou pelo sistema de condicionamento artificial acionado. Processos Markovianos foram amplamente empregados no desenvolvimento de modelos estocásticos de comportamento do usuário. Para esse método, as probabilidades de transição são dependentes do estado atual do processo.

Ocupação e interações com elementos da edificação apresentam relação com a rotina do usuário, demonstrando dependência temporal. Para modelar essa dependência temporal, um processo Markoviano denominado cadeia de Markov não-homogênea no tempo foi

frequentemente empregado. Em uma cadeia de Markov não-homogênea, o tempo gasto em um dado estado tem distribuição exponencial e característica aleatória. O tempo gasto em um dado estado não influencia o estado futuro; todavia, ele adiciona a propriedade de ausência de memória ao processo de modelagem. Modelar o comportamento do usuário com base em um processo Markoviano visa abranger características estocásticas da ocupação e da operação dos elementos da edificação de forma a serem implementadas em simulações do desempenho da edificação.

Contudo, modelos estocásticos ainda possuem limitações quanto à precisão, especialmente quanto às atividades coletivas. Em modelos estocásticos, as atividades dos usuários são apresentadas independentemente. Logo, atividades usualmente conduzidas por múltiplos usuários ao mesmo tempo podem ocorrer separadamente (e.g. jantar) (JOHNSON et al., 2014). Processos estocásticos apresentam a possibilidade de modelar o comportamento do usuário com múltiplas variáveis de influência relacionadas às condições ambientais e ao tempo. Entretanto, a realidade do comportamento do usuário inclui uma gama ainda maior de variáveis de influência. Para Johnson et al. (2014), a probabilidade de um usuário se engajar em uma atividade inclui: o último horário em que ocorreu, o horário em que usualmente ocorre e, quais atividades os outros membros da residência estão realizando.

2.2.1 Processos estocásticos

Os processos estocásticos resultam em modelos probabilísticos, cujo objetivo é prever a probabilidade de uma ação ocorrer. Em contrapartida, os modelos determinísticos apenas relacionam as ações a variáveis explicativas. Assim, as variações do comportamento do usuário são melhor representadas por modelos probabilísticos (AERTS, 2015).

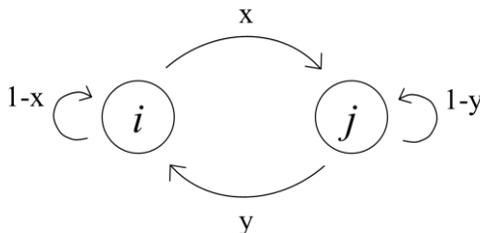
Gallager (2013) descreveu um processo estocástico como uma coleção infinita de variáveis aleatórias definidas em um modelo de probabilidade comum. Essas variáveis aleatórias são indexadas por um número inteiro ou real, o qual é interpretado como o tempo. Assim, cada ponto da amostra é mapeado por uma função no tempo que aponta para a trajetória da amostra. A trajetória da amostra pode variar no tempo de modo contínuo ou discreto (GALLAGER, 2013). A maioria dos modelos de comportamento do usuário presentes na literatura são discretos no tempo. Todavia, o modelo estocástico de ocupação desenvolvido por Wilke (2013) busca se aproximar de uma ocupação contínua no tempo de uma cadeia discreta, na qual a probabilidade de o usuário estar presente corresponde a uma sequência de variáveis aleatórias e pode ser modelada

como um processo Markoviano (sem memória) de primeira ordem (WILKE, 2013).

Os modelos de comportamento do usuário utilizam estados binários ou terciários, para descrever a ocupação ou as operações de elementos da envoltória. A cada passo de tempo ($n \geq 0$) existe um valor inteiro de variáveis aleatórias, denominadas de estado no tempo n . As alterações no estado ocorrem somente em passo de tempo inteiro. Para as cadeias de Markov, o conjunto de possíveis valores para cada variável aleatória é um conjunto contável. Para cadeias de Markov com estados finitos, são utilizados vetores e matrizes para cada número inteiro da trajetória da amostra (GALLAGER, 2013).

Ao modelar o sistema de cadeias de Markov, as matrizes são construídas a partir da probabilidade de transição entre os estados, para cada passo de tempo. Assim, a probabilidade de transição entre dois estados possíveis $i \rightarrow j$ é dada pelo número de vezes em que o estado i aparece seguido do estado j , dividido pelo número de vezes que o estado i é seguido de qualquer estado. As probabilidades de transição P_{ij}^n são consideradas para cada passo de tempo e incorporadas à matriz correspondente. A matriz de probabilidades de transição de uma cadeia de Markov $[P]$ é uma matriz quadrada composta de termos não negativos, cujos elementos de cada linha somam um. A Figura 1 mostra graficamente como é dada a transição entre os estados de um sistema binário, e suas respectivas probabilidades.

Figura 1. Esquema gráfico da transição entre estados de um sistema binário.



A Tabela 1 mostra a transição entre os estados no passo de tempo atual (i, j) para os estados no passo de tempo futuro (i', j'), demonstrando que, assim como na matriz de probabilidades de transição, o somatório de cada linha é igual a um.

Tabela 1. Probabilidades de transição entre os estados de um sistema binário.

	i'	j'
i	$1-x$	x
j	y	$1-y$

O método de cadeias de Markov visa prever a probabilidade de determinado estado no passo de tempo futuro, dado o estado no passo de tempo atual. Ao considerar um estado binário, e.g. ausente e presente, não existe probabilidade nula. Desse modo, trata-se de um sistema regular e ergódico. O sistema regular denomina a existência de uma matriz de probabilidades composta por termos não negativos. Enquanto que o sistema ergódico indica a ausência de termos isolados.

Para uma cadeia de Markov, o estado no passo de tempo futuro é dependente apenas do estado atual e do tempo, esse último válido somente para sistemas não-homogêneos no tempo. No caso de o estado manter-se inalterado por diversos passos de tempo, o método de cadeias de Markov pode demandar cálculos redundantes (HALDI; ROBINSON, 2009). Em contrapartida, processos contínuos no tempo estimam o tempo de cada estado, restringindo os cálculos de probabilidade apenas quando há transição entre os estados.

Nas próximas subseções são abordados os diferentes métodos para o desenvolvimento de modelos de comportamento do usuário, os quais foram agrupados de acordo com seus objetos de estudo.

2.2.2 Modelos de ocupação

Estudos sobre a ocupação dos ambientes de longa permanência são fundamentais para compreender o comportamento do usuário, uma vez que diversas interações com elementos da edificação são dependentes da presença de usuário. Por exemplo, a ação de abrir uma janela envolve a presença de um ocupante no ambiente que ajuste o elemento de acordo com as preferências térmicas e visuais.

O desenvolvimento de um modelo de ocupação demanda informações sobre esse comportamento, as quais foram obtidas em vários estudos por meio dos resultados de monitoramento das pesquisas de usos finais de energia. O uso de grandes amostras permite que o modelo inclua uma ampla variedade de comportamento, portanto, mostrando-se apto a representar uma população. Um modelo estocástico foi desenvolvido a partir dos resultados de monitoramento de uma pesquisa de usos finais de energia no Reino Unido, a qual apontava, em resolução de 10 minutos, o número de usuários ativos em cada residência. Essa informação foi

interpretada como um estado em uma cadeia de Markov de primeira ordem usada por Richardson; Thomson; Infield (2008). Resultados de monitoramento da pesquisa de usos finais de energia na Suécia foram utilizados por Widén; Nilsson; Wäckelgård (2009) para modelar a ocupação em um estado ternário: (1) ausente, (2) presente e ativo e (3) presente e inativo. Um modelo para ocupação e uso de eletrodomésticos foi criado por Chiou et al. (2011) utilizando os resultados de monitoramento da pesquisa de usos finais de energia realizada nos Estados Unidos. Um modelo estocástico de ocupação e atividades baseado nos resultados da pesquisa francesa foi desenvolvido por Wilke et al. (2013). A principal diferença do último modelo diz respeito à associação de probabilidades iniciais com 41 variáveis artificiais vinculadas às características individuais dos usuários.

Modelos estocásticos do comportamento do usuário frequentemente empregam uma descrição binária de estados (e.g. presença ou ausência de usuário). O estado ternário proposto por Widén; Nilsson; Wäckelgård (2009) proporcionou uma alternativa diferenciando um usuário ativo de um inativo. Desse modo, uma mudança de estado indicaria uma mudança na taxa metabólica e, conseqüentemente, na carga térmica. O estado ternário de ocupação também foi utilizado por Aerts et al. (2014) no desenvolvimento de um modelo probabilístico. O desenvolvimento do modelo de ocupação usou resultados de monitoramento da pesquisa de usos finais da Bélgica, com resolução de 10 minutos.

A ocupação foi amplamente associada com a rotina dos usuários. Assim, os métodos estocásticos empregados no desenvolvimento de modelos de ocupação buscam incluir essa característica de dependência temporal. Para uma cadeia de Markov de primeira ordem, tal como a utilizada por Richardson; Thomson; Infield (2008), o estado presente é dependente do estado anterior, juntamente com a probabilidade de transição de uma mudança de estado. Para adicionar a dependência temporal, o estado presente foi determinado por um número aleatório, combinado com as probabilidades de transição e o estado anterior, configurando uma técnica de cadeia de Markov Monte Carlo. O método possibilitou a geração de um modelo de ocupação com variação em cada nova simulação devido ao número aleatório, todavia mantendo características similares. Um modelo estocástico desenvolvido por Widén; Nilsson; Wäckelgård (2009) empregou probabilidades de transição obtidas a partir dos resultados de monitoramento, e uma vez que o modelo foi desenvolvido como não-homogêneo, as probabilidades de transição não foram fixadas. Assim, a dependência temporal foi aplicada

ao modelo de ocupação dada a variação das probabilidades de transição em função do tempo. O modelo probabilístico proposto por Aerts et al. (2014) considerou probabilidades de transição com dependência temporal para ambas as probabilidades de mudança de estado e probabilidades de duração do estado. Em geral, um modelo probabilístico considera o estado atual para determinar o estado futuro. Contudo, o emprego de probabilidades de transição com dependência temporal indica que o estado futuro será determinado pelo estado presente e pelo tempo.

Os métodos de modelagem empregados nos estudos anteriores focaram no desenvolvimento de modelos estocásticos de ocupação. Além disso, rotinas e padrões para o comportamento do usuário também foram obtidos a partir da modelagem da ocupação com diferentes abordagens. Um método bootstrap foi utilizado por Chiou et al. (2011) para criar um modelo de ocupação e uso de eletrodomésticos a partir dos resultados de uma pesquisa de usos finais de energia nos Estados Unidos. De acordo com o método, foram usados média e erro padrão da média para estimar a população a cada simulação. As variáveis estimadoras obtidas para múltiplas simulações foram utilizadas para descrever o comportamento da população na forma de rotinas de ocupação e de atividades relacionadas ao uso dos eletrodomésticos. Um exemplo de modelo de comportamento do usuário com formato de rotina foi criado por Taniguchi et al. (2016). A rotina foi gerada a partir de resultados de monitoramento da pesquisa de usos finais japonesa intercalando comportamentos rotineiros e não rotineiros. De acordo com essa diferenciação, o modelo de rotina fez referência a um grupo de atividades diárias (i.e., comportamento rotineiro, como por exemplo, dormir) seguido de comportamentos esporádicos. Uma cadeia de Markov não-homogênea de primeira ordem foi aplicada por Diao et al. (2017) aos padrões de comportamento previamente obtidos a partir dos resultados de monitoramento da pesquisa de usos finais de energia americana. Os padrões de comportamento para ocupação e uso de eletrodomésticos foram o resultado de uma análise de agrupamento, que considerou o k-modes como método de divisão dos objetos a partir da distância. Diferentemente de outros estudos, o método de modelagem estocástico utilizou resultados sintetizados e não resultados monitorados. Um modelo probabilístico foi desenvolvido e utilizado por Carlucci et al. (2016) para avaliar o desempenho energético de uma residência multifamiliar na China. As informações sobre o estado dos ocupantes foram utilizadas para compor diferentes tipos de famílias, de acordo com uma distribuição probabilística de membros familiares. O comportamento do usuário associado a cada membro familiar foi agrupado para criar perfis de

ocupação para todos os ocupantes de uma unidade habitacional. O desenvolvimento do modelo empregou dados de uma pesquisa conduzida no Japão, uma vez que os dados chineses não estavam disponíveis. Os dados importados incluíram a distribuição de probabilidade da duração das atividades, bem como os horários de início e fim das mesmas.

Os modelos de ocupação foram explorados com intuito de representar outras interações entre os usuários e os elementos da edificação. Uma correspondência entre o modelo de ocupação e demanda energética para iluminação foi desenvolvido por Widén; Nilsson; Wäckelgård (2009). A associação de diferentes demandas energéticas para cada estado de ocupação e o número de usuários permitiu que o modelo incorporasse tanto a ocupação como a operação de sistema de iluminação. Em um estudo subsequente, Widén e Wäckelgård (2010) associaram o modelo de ocupação com nove atividades relacionadas a usos finais de energia. O modelo estocástico foi capaz de gerar padrões de carga relacionando essas atividades. As probabilidades de transição também foram obtidas a partir dos resultados da pesquisa de usos finais de energia. A comparação entre as probabilidades de transição e um número aleatório gerado a cada passo no tempo determinavam se uma mudança de estado ocorreria.

2.2.3 Modelos de operação de janelas e persianas

O desenvolvimento de modelos para operação de janelas frequentemente explora os resultados de monitoramento do comportamento adaptativo. Esses estudos investigaram a relação entre as condições ambientais e as ações de abrir ou fechar uma janela. As probabilidades de abertura e fechamento da janela foram exploradas por Andersen et al. (2013) usando regressão logística multivariada. As probabilidades foram inferidas com base nos resultados de monitoramento adaptativo em 15 residências na Dinamarca. Diversas variáveis explanatórias foram avaliadas, incluindo condições ambientais (tais como, temperatura interna e externa, radiação solar, velocidade do ar, umidade relativa interna e externa), bem como o tipo de espaço, a hora do dia e dia da semana. As variáveis relacionadas à concentração de CO₂ e à temperatura externa foram as que mais influenciaram, respectivamente, a abertura e o fechamento de janelas. O método de modelagem desenvolvido por Fabi et al. (2013) constituiu um monitoramento adaptativo contínuo, do qual foram obtidos padrões por meio de análise estatística. Na sequência do método proposto, os padrões foram implementados em simulações de edificações, cujos resultados de consumo de energia foram analisados segundo distribuição probabilística,

ao invés de um único valor como comumente realizado. Os resultados mostraram que os padrões resultantes caracterizavam o comportamento do usuário inclusive para residências com diferentes características de propriedade e tipo de ventilação. A concentração de CO₂, a temperatura externa e a iluminação interna foram as principais variáveis para a probabilidade de operação da janela. As últimas duas variáveis também foram as principais para a probabilidade de fechamento da janela. Em outra aplicação de regressão logística, Cali et al. (2016) empregaram o método separadamente para cada janela monitorada. Os resultados de monitoramento incluíram quatro anos de dados sobre a operação de janelas e variáveis ambientais para cinco ambientes de uma edificação residencial multifamiliar. A aplicação de método estatístico individualmente para cada janela permitiu a identificação das variáveis de influência mais frequentes. O método considerou a probabilidade de mudança do estado da janela. A hora do dia foi a variável explanatória destacada em ambos os eventos de abertura e fechamento da janela. Uma regressão logística multivariada foi usada por Jones et al. (2017) para desenvolver um modelo estocástico de operação de janelas. As probabilidades foram inferidas com base em variáveis ambientais e contextuais (e.g., estação do ano e hora do dia). O método considerou o sinal e a magnitude de cada modelo logístico linear multivariado para comparar o efeito das variáveis explanatórias.

A precisão dos modelos de operação de janelas foi avaliada por Fabi et al. (2015) por meio da comparação entre os resultados do monitoramento e das simulações de desempenho energético de edificações utilizando diferentes modelos. Temperatura, umidade relativa e concentração de CO₂ foram obtidas como variáveis de saída. Apenas as tendências gerais para a primeira variável foram demonstradas pela implementação dos modelos de operação de janelas. Uma comparação semelhante entre os resultados de simulação do desempenho de edificações usando os modelos de operação de janelas e os resultados de monitoramento foi conduzida por Andersen; Fabi; Corngati (2016). Os resultados monitorados incluíram variáveis ambientais internas e externas para cinco apartamentos similares. Os resultados simulados e monitorados apresentaram-se na mesma faixa de valores, o que indicou que o modelo de operação da janela foi capaz de fornecer tendências similares.

O modelo de comportamento do usuário desenvolvido por Haldi et al. (2016) incluiu ambas as operações de janela e persiana. Um processo Markoviano discreto no tempo foi empregado para inferir sobre as probabilidades de ação, baseado nos resultados de monitoramento. A

modelagem da operação de janela considerou as probabilidades de abertura e fechamento da janela com dependência do estado atual da janela. Para a operação de persiana, um submodelo foi desenvolvido para contabilizar as frações de abertura, portanto considerando o estado parcialmente aberto. As probabilidades de operação de persiana foram estimadas em três estágios – na chegada, na saída e durante a ocupação. Uma abordagem de efeito misto foi desenvolvida para modelar o comportamento do usuário, que diferenciou os efeitos de variáveis ambientais e ocupação dos efeitos aleatórios representados pela diversidade dos indivíduos. As probabilidades de ação foram estimadas considerando ambos os efeitos.

O comportamento do usuário relacionado à operação de persianas merece ser mais explorado em edificações residenciais. A maioria dos estudos sobre operação de persianas refere-se a resultados de monitoramento em edificações de escritório. A falta de estudos para edificações residenciais reflete as dificuldades em monitorar esse comportamento devido a questões de privacidade, influência dos sensores na rotina dos usuários e demanda de um período de monitoramento que abranja ao menos uma estação do ano. Além disso, modelar a operação de persianas em edificações residenciais engloba não somente a dependência da rotina (dependência temporal) e das variáveis ambientais, mas também as relações com o entorno da edificação, visto que a demanda por privacidade, por exemplo, pode desencadear a ação de fechar a persiana.

2.2.4 Modelos de operação de sistemas de condicionamento artificial

Comportamento do usuário relativo à operação de sistemas de aquecimento e resfriamento está associado às condições ambientais internas. As principais variáveis de influência da operação dos sistemas de condicionamento artificial são sintetizadas em variáveis ambientais, características da edificação e características dos ocupantes. Uma revisão sobre essas variáveis de influência foi proposta por Wei; Jones; De Wilde (2013). De acordo com os autores, a classe de variáveis da edificação e do sistema inclui: tamanho e idade da edificação, tipo de isolamento do ambiente, tipo de sistema e do controle de temperatura. As variáveis relacionadas ao usuário compreendem características socioeconômicas, tais como idade, gênero, renda familiar, propriedade da residência. Além disso, as variáveis relacionadas à rotina dos usuários (e.g. hora do dia, ocupação) e o preço da energia também influenciam a operação do sistema de condicionamento artificial.

Modelos de operação dos sistemas de aquecimento e de resfriamento foram frequentemente desenvolvidos com o intuito de avaliar o impacto do usuário no consumo de energia. Assim, um modelo baseado em padrões de operação de sistema de aquecimento, como o desenvolvido por Guerra-Santin (2011), representa uma abordagem direta para explorar a relação entre a operação do sistema de aquecimento e o consumo de energia. Uma análise de agrupamento foi empregada para identificar tais padrões em edificações residenciais na Holanda.

Em uma abordagem de modelo probabilístico, a operação do sistema de aquecimento/resfriamento está associada a variáveis explanatórias, adicionando uma camada de complexidade. Como visto anteriormente, as variáveis ambientais têm influência sobre o comportamento do usuário relacionado à operação dos sistemas de condicionamento artificial, a qual foi explorada por Feng et al. (2015) ao considerar as condições ambientais e eventos como estímulos para ligar e desligar o sistema. Uma abordagem baseada em mineração de dados foi conduzida por Zhou et al. (2016) para identificar a operação do sistema de condicionamento artificial, baseada em variáveis ambientais. Para tal, os resultados de monitoramento da temperatura do ar interno e umidade relativa foram usados. A operação do sistema de condicionamento artificial foi desenvolvida utilizando dois algoritmos, o algoritmo de árvore de decisão C4.5 e o algoritmo de curva de descrição, o qual demonstrou melhor adequabilidade para relacionar as variáveis ambientais com o comportamento do usuário.

Um modelo de abordagem ascendente foi desenvolvido por Wang et al. (2015) para estimar o consumo de energia para aquecimento em uma ampla escala, considerando o setor residencial de uma região na China. O modelo foi baseado em resultados de monitoramento do censo chinês e de pesquisa por questionário. O modelo de operação do sistema de aquecimento utilizou uma função de distribuição para as variáveis de temperatura de operação para aquecimento e temperatura de acionamento. A temperatura de acionamento e o padrão de ocupação foram utilizados para determinar uma rotina de aquecimento. A influência da temperatura de acionamento e da temperatura de operação para aquecimento sobre o comportamento do usuário foi apontada por meio de análise de sensibilidade. Para estimar a carga de resfriamento também em uma escala de distrito residencial, An et al. (2017) desenvolveram um método de modelagem estocástica que abrangeu operação de sistema de resfriamento, operação de sistema de iluminação e operação de janelas em um único modelo de comportamento do usuário. Diferentes modelos probabilísticos foram criados como parte de um método para definir

modelos de operação para cada elemento da edificação. Além disso, o método permitiu representar a diversidade referente ao tempo e espaço, o que foi apontado como uma vantagem, especialmente quando focado em resultados de múltiplas edificações.

O desenvolvimento de modelo probabilístico de consumo de eletricidade para aquecimento em uma edificação residencial foi descrito por Jang e Kang (2016). O objetivo do modelo foi contabilizar a variação vista no consumo real de energia, proporcionando melhores dados de entrada para simulações de desempenho da edificação. A abordagem probabilística foi aplicada a uma ampla base de dados, a partir da qual amostras aleatórias foram selecionadas para a aplicação do método de Monte Carlo. A probabilidade de consumo de energia foi calculada usando processo Gaussiano de classificação. Foi observada uma ampla variação entre valores mínimos e máximos para o consumo de energia. Essa variação indica que valores típicos usados em simulações são limitados e não se aproximam do consumo real de energia para tipologias específicas de edificação.

2.3 APLICAÇÃO DE MODELOS DE COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

A aplicação de modelos de comportamento do usuário focou frequentemente na predição do consumo de energia e foi conduzida em diferentes escalas. Um estudo em escala urbana foi conduzido por Shimoda et al. (2007) usando um modelo de comportamento do usuário para avaliar os resultados de consumo de energia para diferentes políticas de conservação de energia. Um modelo de comportamento do usuário também foi aplicado em escala urbana por Taniguchi et al. (2016). Simulações foram conduzidas para estimar a influência do comportamento do usuário no pico de demanda de eletricidade em edificações residenciais. Além disso, estratégias de economia de energia foram avaliadas, o que ressaltou a influência da operação do sistema de iluminação. Em outra escala, o estudo de Peng et al. (2011) focou em um único apartamento para uma comparação entre os resultados de monitoramento e de simulação.

As abordagens atuais para implementar o comportamento do usuário em simulações de desempenho da edificação incluem: (1) rotinas estáticas para ocupação e atividades, (2) códigos customizados que podem sobrescrever valores existentes (sem re-compilar), (3) co-simulação, a qual permite trocas de informação em tempo real entre as

ferramentas de comportamento do usuário e a ferramenta de simulação (HONG et al., 2015).

Os modelos de comportamento do usuário foram empregados para avaliar a influência de uma interação específica com elemento da edificação no consumo de energia. De acordo com Yu et al. (2011), os resultados dessas avaliações mostraram potencial de economia de energia a partir do aprimoramento da consciência dos ocupantes.

A influência do comportamento do usuário combinada com uma variável específica da edificação também foi avaliada utilizando modelos como dados de entrada para as simulações de desempenho da edificação. Ao melhorar a precisão dos dados de entrada com o modelo de comportamento do usuário, os resultados da simulação são capazes de fornecer cenários mais realistas, nos quais uma variável específica da edificação pode ser avaliada. Em um estudo realizado por De Meester et al. (2013), diferentes níveis de isolamento foram analisados considerando o impacto do estilo de vida dos usuários nas condições internas e no consumo de energia para aquecimento. Similarmente, um estudo paramétrico de Kolaitis et al. (2013) utilizou padrões de comportamento do usuário para representar diferentes níveis de conscientização para explorar o potencial de sistemas de isolamento térmico interno e externo como estratégia de retrofit para edificações residenciais na Grécia. Ocupação e interações com elementos das edificações influenciam as condições internas, e conseqüentemente, o desempenho energético da edificação. O risco de superaquecimento interno foi avaliado por Mavrogianni et al. (2014) considerando ocupação e operação de janelas e persianas. A influência dos padrões de comportamento do usuário combinados com variáveis da edificação (e.g. geometria da edificação, orientação e nível de isolamento) foi analisada por meio de parâmetros de superaquecimento.

Modelos de comportamento do usuário foram aplicados em simulações do desempenho da edificação com o intuito de avaliar a precisão de duas abordagens: uma modelagem probabilística e outra determinística. A comparação conduzida por D'Oca et al. (2014) mostrou que o uso de modelo probabilístico melhorou a precisão dos resultados simulados, ao considerar diferentes cenários de ocupação e operação de janelas e de termostatos. A representação do comportamento do usuário em simulações de desempenho da edificação também foi avaliada em um estudo de Daniel; Soebarto; Williamson (2015). Simulações foram conduzidas usando dados de entrada de comportamento do usuário em concordância com o regulamento de classificação energética de residências da Austrália. Nessa aplicação, a representação do

comportamento do usuário provou ser imprecisa quanto ao comportamento real de residências de baixo consumo energético, ao superestimar o mesmo.

A aplicação de perfis de comportamento do usuário em simulações de desempenho da edificação foi conduzida por Barthelmes et al. (2017) para avaliar o consumo de energia para dois casos: uma edificação de consumo quase-zero e uma edificação de referência. Os resultados mostraram que para a edificação de alto desempenho, a variável comportamental de maior influência foi o uso de equipamentos. Em contrapartida, para a edificação de referência, o comportamento relacionado à operação do sistema de condicionamento artificial representou a maior influência.

A aplicação do comportamento do usuário como dados de entrada em simulações do desempenho da edificação foi conduzida por Carpino et al. (2017) para avaliar a sua influência no consumo de energia de uma edificação de alto desempenho. A inclusão de dados de referência do comportamento do usuário na avaliação de tal edificação foi proposta como forma de assegurar que o balanço final do consumo de energia atingisse o objetivo teórico.

A demanda para edificações de alta eficiência enfatiza a importância de entender as interações homem-edificação. Um estudo de Pisello e Asdrubali (2014) mostrou que edificações com tecnologias de alta eficiência apresentam potencial para economia de energia referente ao comportamento do usuário. O retrofit energético baseado no usuário resultou na redução do consumo energético de uma vila ecológica ao empregar ações simples, com enfoque no comportamento para redução de desperdício. Modelos de comportamento do usuário foram utilizados como dados de entrada em simulações de desempenho da edificação conduzidas por Guerra-Santin et al. (2018) para reduzir a incerteza dos dados de saída e avaliar estratégias de projeto visando o consumo zero de energia. Edificações de alta eficiência energética são usualmente caracterizadas por alto nível de isolamento e janelas herméticas. Essas características de projeto combinadas com o comportamento do usuário podem resultar em níveis de umidade interna desconfortáveis. Portanto, um estudo de Winkler; Munk; Woods (2018) avaliou o balanço de cargas sensível e latente em edificações de alta eficiência energética, em climas diferentes. Um modelo estocástico de cargas internas representando o comportamento do usuário foi aplicado juntamente com modelos de degradação latente de umidade e condicionamento artificial. A importância de considerar o comportamento do usuário na análise refere-se ao seu impacto nas condições internas.

A otimização do projeto da edificação e de seus sistemas é uma das mais importantes aplicações dos modelos de comportamento do usuário. A implantação de modelos adequados de comportamento do usuário em simulações de desempenho da edificação torna possível a avaliação do impacto da presença e das ações dos usuários combinadas com estratégias passivas e ativas para melhorar a eficiência energética.

2.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE FATORES SOBRE A VARIÁVEL RESPOSTA

O principal meio de aplicação dos modelos de comportamento do usuário são as simulações computacionais, as quais também representam uma maneira eficaz e rápida para avaliar o desempenho termoenergético de edificações. A aplicação de modelos de comportamento do usuário em simulações computacionais com objetivo de analisar sua influência no desempenho termoenergético da edificação é um dos principais motivos pelos quais os modelos de comportamento do usuário são desenvolvidos e estudados. Contudo, o conhecimento sobre o modo como o usuário interage com o ambiente construído e sua influência nas condições internas da edificação demanda conhecimento sobre os efeitos da combinação entre o comportamento do usuário e variáveis da envoltória. Para tal, torna-se necessário o uso de ferramentas estatísticas que permitam essa combinação entre diferentes variáveis, tais como o projeto de experimentos.

O projeto de experimentos, também denominado projeto fatorial, é uma técnica estatística para análise dos efeitos da combinação simultânea de diversos fatores sobre determinada variável resposta.

O projeto de experimentos pode ser conduzido em seu formato completo ou parcial. O formato parcial é vantajoso para conjuntos de simulações com quantidade muito elevada de fatores. Ao reduzir o número de simulações necessárias e ainda assim permitir avaliar a influência dos fatores de estudo na variável resposta, o projeto de experimentos parcial contribui para a diminuição do tempo e esforço computacional. A demanda de simulações é dada pela potência do número de níveis elevado ao número de fatores. Os fatores designam as variáveis de interesse do estudo, enquanto os seus níveis correspondem aos valores que tais variáveis podem assumir. Ao considerar uma ampla quantidade de variáveis de estudo, o projeto de experimentos auxilia na organização das simulações ao garantir que todas as combinações entre as variáveis e seus níveis sejam estabelecidas.

A seleção dos fatores e de seus níveis é parte fundamental do projeto de experimentos. Em um estudo de Jaffal; Inard; Ghiaus (2009), os fatores foram selecionados de modo a caracterizar o principal objeto de estudo, a envoltória da edificação. Foram priorizados fatores que apresentaram efeito não-aditivo e relação quase-linear com a variável resposta, dada pela demanda energética anual para aquecimento. Os fatores selecionados foram: transmitância térmica dos componentes (paredes, piso, cobertura, aberturas), coeficiente de transmissão linear das pontes térmicas, coeficiente de ganho de calor solar das aberturas (diferenciado para as fachadas com orientação Norte, Leste, Sul e Oeste), taxa de infiltração e de ventilação. A cada um dos fatores foram atribuídos dois níveis, para posteriormente serem aplicados nas simulações computacionais de uma edificação residencial unifamiliar, com cargas internas e temperatura de operação constantes. Os resultados da aplicação de projeto de experimentos juntamente com simulações computacionais apontaram o efeito de cada fator na demanda energética anual para aquecimento. A abordagem mais utilizada para o projeto de experimentos consiste na definição de dois níveis para cada fator, usualmente definidos como valores inferior e superior, dentro do espectro de variação possível para o cenário.

A análise dos dados de saída do projeto de experimento é feita por meio do cálculo dos efeitos, os quais representam a influência do fator sobre a variável resposta. Os efeitos podem ser de dois tipos: principais ou combinados. Um efeito principal diz respeito à influência individual de um fator sobre a variável resposta, i.e., o resultado acarretado quando seu nível é alternado de um valor para outro. Um efeito combinado é obtido quando a resposta do fator de estudo sobre a variável resposta depende do nível dos demais fatores (SILVA, 2008).

O estudo de Evins et al. (2012) abordou o processo de otimização do projeto de edificação em três estágios, relacionando-o com os seguintes dados de saída: emissões de carbono, custo de operação e risco de aquecimento. Um projeto de experimentos foi aplicado visando cada uma das três variáveis respostas. A análise dos resultados considerou os fatores com maior influência sobre as variáveis respostas e, os que demonstraram influência sobre mais de uma variável resposta. Para o estudo de otimização conduzido por Gossard; Lartigue; Thellier (2013), o projeto de experimentos considerou a influência da condutividade térmica e do calor específico volumétrico sobre o desempenho térmico da edificação. Foram utilizadas duas variáveis respostas referentes à demanda energética anual e a um índice de conforto elaborado pelos

autores. A análise considerou os efeitos principais para avaliar a influência das propriedades termofísicas.

O projeto de experimentos aplicado por Bonte; Thellier; Lartigue (2014) avaliou o impacto de seis ações do comportamento do usuário no consumo energético de uma edificação. Os efeitos de cada fator foram quantificados ao inserir a variação de seus níveis em simulações computacionais de um ambiente de escritório. Os fatores correspondentes ao comportamento do usuário referem-se à operação de persianas, sistema de iluminação artificial, abertura, ventiladores, termostatos e aos ajustes de vestimenta. Além dos fatores relacionados ao usuário, foram consideradas as variáveis inércia térmica das paredes da edificação e clima do local de implantação. A influência dos fatores foi avaliada quanto às demandas energéticas para aquecimento, resfriamento e iluminação e à sensação térmica do usuário.

O projeto de experimentos foi frequentemente associado à variação das características da envoltória, ao considerar diferentes materiais e composições para os elementos construtivos da edificação. Em alguns estudos, como o conduzido por Sadeghifam et al. (2015), os resultados obtidos por meio do projeto de experimentos foram utilizados para otimizar o projeto da edificação, visando melhor eficiência energética. Os efeitos principais e de combinação identificaram os fatores com maior influência sobre o desempenho termoenergético da edificação.

2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Esse capítulo apresentou um panorama dos métodos empregados para a coleta de informações sobre o comportamento do usuário e a sua aplicação em simulações de desempenho da edificação por meio do desenvolvimento de modelos de comportamento do usuário.

O comportamento do usuário em edificações residenciais foi revisado com enfoque no potencial de economia de energia a partir do melhor entendimento das interações homem-edificação. Edificações residenciais contam com maior diversidade de comportamento do usuário relacionado aos horários de ocupação e variação de atividades, em comparação com edificações de escritório. Essa maior diversidade representa desafios no monitoramento do comportamento do usuário, especialmente quando combinado com maior preocupação em garantir a privacidade do usuário. Os desafios encontrados ao monitorar o comportamento do usuário em edificações residenciais refletem a escala e o período das campanhas de monitoramento.

O monitoramento com o uso de equipamentos pode ser financeiramente proibitivo para estudos de larga escala. Os equipamentos mais frequentemente usados são os sensores, uma vez que equipamentos com base em imagem são mais intrusivos para edificações residenciais. Sensores magnéticos foram usados com sucesso no monitoramento da operação de janelas. Sensores de movimento empregados no monitoramento da ocupação preservam a identidade dos ocupantes. O aumento da tecnologia disponível em smartphones e sistemas automatizados das edificações residenciais trouxe a oportunidade de monitorar o comportamento do usuário utilizando métodos baseados em rádio e human-in-the-loop. O monitoramento baseado em rádio utiliza as tecnologias de GPS e Bluetooth para rastrear ocupação; e o método human-in-the-loop monitora dados de entrada de sistemas automatizados, aprendendo as preferências e rotina dos usuários. Ambos os métodos requerem atenção adicional à privacidade e devem ser capazes de proteger informações sensíveis. A aplicação de questionário é um método recorrente no monitoramento do comportamento do usuário em edificações residenciais. Esse método depende de dados autorreportados, assim, torna-se fundamental que os questionários sejam elaborados com questões diretas com intuito de mitigar problemas de interpretação ao serem respondidos pelos usuários. Todos os métodos de monitoramento possuem incertezas, as quais podem ser reduzidas ao implementar uma abordagem mista. O monitoramento do comportamento do usuário com a combinação de equipamentos e aplicação de questionário permite a triangulação dos resultados monitorados. Além disso, os resultados desse tipo de monitoramento podem fornecer múltiplas variáveis explanatórias para ocupação e interação com os elementos da edificação.

O monitoramento do comportamento do usuário foi frequentemente conduzido com o propósito de desenvolver modelos matemáticos. Durante a seleção dos métodos de monitoramento e modelagem, o objetivo do estudo precisa ser priorizado, de forma a evitar complexidade excessiva e desnecessária.

A modelagem do comportamento do usuário foi conduzida por meio de métodos determinísticos e probabilísticos. Os modelos resultantes de ambos os métodos apresentam dependência com a base de dados utilizada no seu desenvolvimento. Contudo, modelos determinísticos são capazes de apenas reproduzir o comportamento do usuário monitorado. Modelos probabilísticos podem criar novos padrões de comportamento do usuário em concordância com as informações da base de dados. Os resultados de modelos determinísticos estão associados às características da edificação, do local e dos ocupantes, todas com

origem nos resultados monitorados. Em contraste, modelos probabilísticos exploram a dependência do comportamento do usuário com variáveis temporais e ambientais. As cadeias de Markov não-homogêneas foram recorrentes no desenvolvimento de modelos estocásticos com dependência temporal. A importância da dependência temporal em modelos de comportamento do usuário refere-se à representação da rotina.

A maioria dos modelos de comportamento do usuário foram desenvolvidos usando estado binário. Para operação de janelas e persianas, o estado binário diferencia entre aberta ou fechada. Para essas interações, um detalhamento mais aprofundado pode identificar estados de abertura parcial, necessários para aprimorar a concordância com o real comportamento do usuário em edificações residenciais.

Em relação às principais limitações, os modelos de comportamento do usuário não podem ser extrapolados devido a sua relação direta com os dados de monitoramento. Informações ocultas e parâmetros não explorados impedem o uso desses modelos em contextos diferentes. As características culturais e socioeconômicas dos usuários estão imersas no modelo (YAN et al., 2015). Ademais, o modelo representa o comportamento em tipologia de edificação e clima específicos.

Os modelos de comportamento do usuário têm sido aplicados em simulações de desempenho da edificação para avaliar o consumo de energia. Desse modo, os estudos têm focado em uma ação específica do comportamento do usuário ou na combinação de comportamento do usuário e uma característica da edificação. Os resultados dessas aplicações apontaram para a influência que o comportamento do usuário exerce sobre o consumo energético da edificação.

Uma importante contribuição dos modelos de comportamento do usuário é a possibilidade de avaliar cenários precisos de interação homem-edificação, conduzindo para a otimização do projeto da edificação quanto ao seu desempenho térmico e energético. Os modelos de comportamento do usuário são importantes dados de entrada para a avaliação do desempenho da edificação. Interações homem-edificação podem alterar significativamente as condições internas. Portanto, uma avaliação minuciosa só é conduzida com dados de entrada precisos acerca do comportamento do usuário. Além disso, a otimização de projetos e sistemas da edificação representa uma oportunidade para a aplicação de modelos de comportamento do usuário a ser mais explorada em estudos futuros.

Em vista do apresentado, foram observadas limitações em estudos anteriores sobre o comportamento do usuário, as quais demonstram

potencial para serem exploradas em maior detalhamento. A primeira questão explorada refere-se à tipologia de estudo. Pondera-se que as interações entre o usuário e o ambiente construído se dão de maneira diferente em função da tipologia da edificação, indicando assim, a necessidade de restringir-se o estudo a uma tipologia de edificação. Ademais, tem-se a representatividade das edificações residenciais multifamiliares nos centros urbanos como potencial tipologia para estudo. Soma-se a isso a possibilidade de explorar a relação com a altura como fator de influência, principalmente, sobre as operações de janelas e persianas.

A representação do comportamento do usuário por meio de rotinas fixas limita-se a sintetizar estatisticamente os dados de uma amostra, não considerando variações entre usuários diferentes. Os resultados obtidos por esse método são simplificados e muitas vezes representam um comportamento irreal, ao basear-se apenas em parâmetros estatísticos. Nesse sentido, o modelo estocástico (probabilístico) do comportamento do usuário representa um avanço ao fornecer uma ferramenta para prever com maior precisão determinada interação. Os modelos estocásticos utilizam os dados monitorados para inferir sobre a probabilidade de uma mudança de estado, além de explorar a relação da interação com variáveis explicativas. A relação com a variável explicativa temporal agrega relevância ao modelo estocástico desenvolvido, ao reproduzir a relação do comportamento com a rotina do usuário.

Em estudos anteriores observou-se a utilização de bases de dados referentes às pesquisas de usos finais de energia ou monitoramento com uso de equipamentos para o desenvolvimento de modelo estocástico. Em contrapartida, dados autorreportados sobre o comportamento do usuário representam uma alternativa ao monitoramento sem o uso de equipamentos. Aponta-se para a necessidade de um método para desenvolver modelos estocásticos com base em dados de monitoramento por meio da aplicação de questionário.

A revisão bibliográfica apresentou estudos que aplicaram modelos de comportamento do usuário com objetivo de verificar a influência de determinada variável da edificação. No entanto, esses estudos consideraram apenas uma variável. Em paralelo, os estudos que analisaram a influência de diversas variáveis da edificação sobre o seu desempenho térmico e energético não consideraram o usuário ou o representaram de modo sintético. Portanto, identifica-se a aplicação do modelo estocástico de ocupação combinado à variação de características da envoltória como uma forma inédita de analisar a sua influência sobre

o desempenho termoenergético da edificação aproximando-se de um cenário real de uso da edificação.

3 MÉTODO

Neste capítulo são descritas as atividades que compõem o método proposto para alcançar os objetivos deste trabalho. O foco do trabalho concentra-se no comportamento do usuário em edificações residenciais multifamiliares. O método proposto consiste em três etapas principais: (1) monitoramento do comportamento do usuário, (2) desenvolvimento de modelo estocástico de ocupação, (3) análise da influência do comportamento do usuário combinado a variáveis da envoltória, por meio da aplicação do modelo estocástico de ocupação.

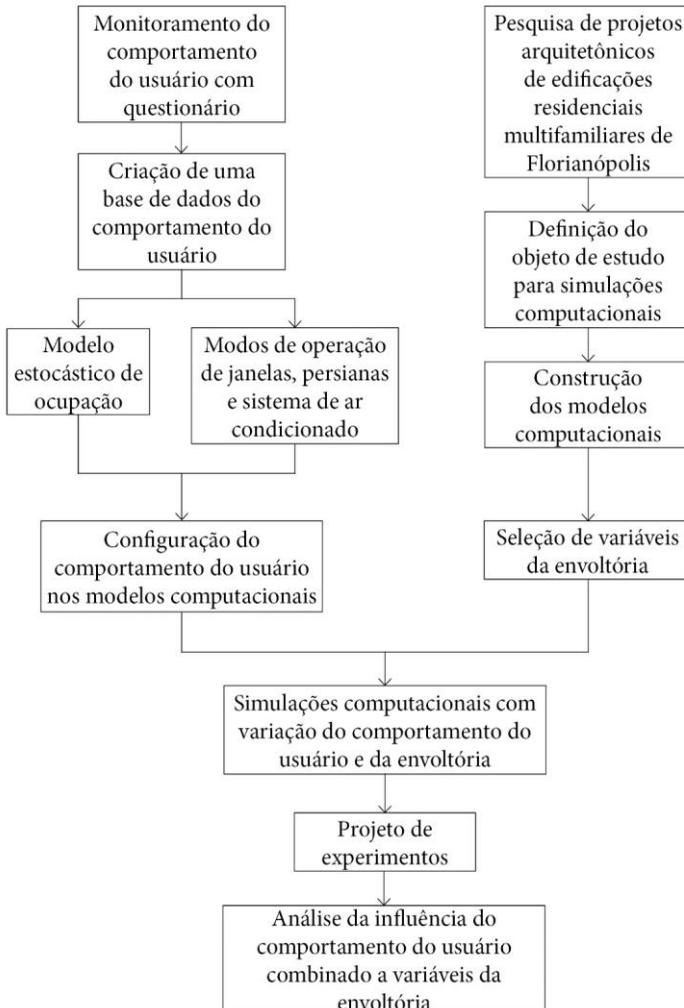
O monitoramento do comportamento do usuário foi realizado por meio da aplicação de questionários a moradores de edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis – SC. As informações coletadas sobre a ocupação e a operação de janelas, persianas e sistema de condicionamento artificial configuraram a base de dados para as etapas subsequentes.

O modelo estocástico de ocupação foi desenvolvido com base em cadeias de Markov aplicadas aos dados de monitoramento. Ao utilizar dados monitorados para prever o comportamento do usuário, o modelo estocástico integra as variações observadas em perfis reais de ocupação com as tendências gerais representadas pela amostra de usuários.

A aplicação do modelo estocástico de ocupação foi conduzida com simulações computacionais configuradas com os perfis de ocupação gerados. Os perfis foram utilizados para caracterizar o comportamento do usuário, diferenciando-o para as unidades habitacionais que compõem a edificação residencial multifamiliar. A aplicação conduzida com simulações computacionais permitiu combinar dados do comportamento do usuário com variáveis da envoltória, a fim de analisar a influência no desempenho térmico e energético da edificação. O projeto de experimentos foi aplicado às variáveis para definir as combinações utilizadas para as simulações computacionais.

Um fluxograma do método desenvolvido e aplicado neste estudo é apresentado na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma do método.



3.1 MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

O comportamento do usuário é associado a variações no desempenho térmico e energético de edificações, visto que a presença e as ações dos usuários podem alterar as condições internas de temperatura, umidade e velocidade do ar, por exemplo. Monitorar o comportamento do usuário torna-se necessário para compreender melhor como essas interações se dão e, a partir de um maior entendimento da rotina do usuário poder prever qual será a influência de determinadas ações no desempenho termoenergético da edificação.

3.1.1 Definição do método de monitoramento

Diferentes abordagens para o monitoramento do comportamento do usuário foram apresentadas na revisão bibliográfica. A principal distinção entre os métodos de monitoramento do comportamento do usuário se dá quanto ao uso ou não de equipamentos. Neste estudo, optou-se pela aplicação de questionários como método para monitorar o comportamento do usuário em edificações residenciais multifamiliares. As principais vantagens desse método de monitoramentos são: (1) maior alcance e, portanto, maior base de dados, (2) baixo custo – fator importante quando o objetivo é atingir um grande público, (3) facilidade de continuação – a base de dados pode ser ampliada a qualquer momento usando o mesmo questionário, (4) possibilidade de investigar as motivações de determinadas ações do usuário. A aplicação de questionários apresenta como principal desvantagem a subjetividade inerente aos dados autorreportados, em vista dos efeitos Hawthorne e conveniência social (WAGNER; O'BRIEN; DONG, 2018).

O questionário aplicado para monitorar o comportamento do usuário foi desenvolvido com enfoque em adquirir informações sobre a presença e as interações com os seguintes elementos da edificação: janelas, persianas, sistema de ar-condicionado.

Considerou-se que as interações com esses elementos representam as principais estratégias na busca por conforto térmico e visual, afinal, essa é dada como a motivação primordial para o usuário interagir com o ambiente construído (YAN; HONG, 2014). A interação com esses elementos gera impactos sobre as condições internas do ambiente, mesmo quando a motivação da ação não está relacionada ao conforto do usuário. Ao tratar de comportamento do usuário, especialmente em edificações residenciais, a rotina é um fator a ser considerado em todas as etapas, inclusive por vezes atuando como motivador para a presença e as ações do usuário no ambiente construído.

3.1.2 Elaboração do questionário

O questionário foi desenvolvido com base em um modelo publicado pela *International Energy Agency - Energy in Buildings and Communities Annex 66* (IEA-EBC, 2017).

O questionário tem como objetivo coletar informações sobre o comportamento do usuário referente à ocupação e à operação de janelas, persianas e sistemas de ar-condicionado. Utilizou-se um estado binário para todos os comportamentos, desse modo, a ocupação foi caracterizada pela presença ou ausência de ocupantes. A operação binária dos elementos da edificação caracteriza a abertura ou fechamento de janelas e persianas e, as ações de ligar ou desligar o sistema de condicionamento artificial.

Dados socioeconômicos dos usuários e características arquitetônicas da edificação não foram abordados no questionário. Essa decisão permitiu que o respondente concentrasse unicamente sobre o tema do comportamento do usuário, além de reduzir o tempo de resposta necessário e, conseqüentemente favorecer a participação de mais respondentes na etapa de monitoramento. Para fins de identificação, foram incluídas questões sobre o bairro e o pavimento da unidade habitacional. A decisão de focar exclusivamente em questões sobre o comportamento do usuário buscou garantir respostas mais adequadas, fundamentando-se na concentração do respondente sobre somente um tema. Com isso também foi possível reduzir o tempo de resposta, o que foi apontado como um fator de influência na participação do público. Estudos anteriores mostraram que o monitoramento por meio de questionário é caracterizado por baixa taxa de resposta, sendo congruente com os resultados obtidos neste trabalho. Em sua totalidade, o questionário demandou um tempo de resposta em torno de dez minutos.

As quinze questões foram desenvolvidas de forma objetiva, visando o entendimento mesmo para pessoas não familiarizadas com a área. As questões dividem-se entre os dois principais ambientes de longa permanência: sala e dormitório. O questionário foi elaborado para ser respondido por apenas um morador de cada unidade habitacional, desse modo, as respostas coletadas para o dormitório referem-se a um único ambiente.

As questões sobre o sistema de condicionamento artificial buscam caracterizar o tipo de sistema instalado em cada um dos ambientes de longa permanência e a frequência de uso desses sistemas. As alternativas de respostas apresentam seis opções para a frequência de uso do sistema

de ar-condicionado, variando quanto ao período do ano e período do dia em que o sistema geralmente é acionado.

As questões referentes à operação de janelas e persianas apresentaram como alternativas de respostas diferentes frequências de uso desses elementos da edificação. Dentre as opções de resposta para a operação de persianas foram dadas as seguintes alternativas: (1) sempre aberta, (2) aberta somente quando estou no ambiente, (3) aberta sempre que as janelas estão abertas, (4) fechada somente no período noturno, (5) sempre fechada, (6) não possui cortina / persiana interna, (7) outro. Essa última alternativa permitiu ao usuário preencher sua própria resposta, quando as demais não descreviam o seu comportamento. As alternativas de respostas para a operação de persianas buscaram cobrir os modos mais usuais de interação com esse elemento, por vezes buscando vincular a operação a outro aspecto do comportamento do usuário. As alternativas de respostas apresentaram uma variação de frequência na qual as persianas são operadas, incluindo os extremos de sempre aberta e sempre fechada.

O questionário incluiu uma questão de múltipla escolha abordando os motivos pelos quais os usuários operam (abrem ou fecham) a persiana, para a qual foram dadas as seguintes alternativas: (1) aproveitar a luz natural, (2) apreciar a vista externa, (3) bloquear luz solar direta, (4) proteger de temperatura elevada, (5) aumentar privacidade, (6) outro.

A questão sobre a operação de janelas manteve o mesmo conceito usado para as demais ações do usuário e apresentou alternativas de respostas com variação da frequência de operação desse elemento da edificação, tais como: (1) sempre aberta, (2) aberta somente quando estou no ambiente, (3) aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar, (5) sempre fechada, (6) outro. Buscou-se apresentar diferentes alternativas de respostas, principalmente entre a operação de janelas e de persianas, para que o respondente conseguisse encontrar dentre elas a que melhor descrevesse seu comportamento.

As alternativas de respostas abordam a vinculação do comportamento do usuário a variáveis explicativas. Essas variáveis explicativas, representadas pelo tempo ou por outra ação, auxiliam a descrição do comportamento do usuário pelo respondente e posteriormente, pelo modelo estocástico de comportamento do usuário.

A ocupação foi monitorada a partir de questões nas quais o usuário deveria preencher os horários em que costuma estar presente nos ambientes, com diferenciação para dias úteis e dias de final de semana. Essa diferenciação não foi necessária nas questões de operação dos

elementos da edificação, uma vez que as alternativas permitiam a vinculação com a ocupação.

A dependência da ocupação em função do tempo fica evidente nas respostas de ocupação, visto que o respondente forneceu perfis diários com os horários em que costuma haver presença de usuários na sala e no dormitório.

3.1.3 Estudo piloto do questionário

Um estudo piloto foi elaborado para testar o questionário desenvolvido. Em um grupo fechado, composto por 15 moradores de Florianópolis e não especialistas da área, o questionário foi aplicado ainda em formato impresso, a fim de avaliar a compreensão das questões e dos termos utilizados. O teste mostrou a necessidade de substituir jargões arquitetônicos por termos mais familiares do público geral, por exemplo, o termo “aberturas” foi substituído por “janelas”. O teste interno também apontou não haver diferença entre as respostas obtidas para o comportamento do usuário em diferentes períodos do ano. A partir disso, optou-se por excluir a diferenciação dos períodos do ano e manter as questões em base anual. Manteve-se somente a diferenciação dos dias da semana para as questões de ocupação, visto que as respostas obtidas para dias úteis e dias de final de semana foram distintas.

O formato impresso do questionário foi ainda testado junto a administradores de condomínios residenciais multifamiliares de um bairro de Florianópolis (Agrônômica). A pesquisa foi apresentada para os administradores e moradores com o intuito de divulgação e visando maior adesão. A aplicação do questionário impresso teve baixa adesão, fato que conduziu à migração para o questionário online.

3.1.4 Aplicação do questionário

O monitoramento do comportamento do usuário foi realizado a partir da aplicação de questionário *online*, cujas 15 questões abordaram ocupação e operação dos principais elementos da edificação – janelas, persianas e ar-condicionado. O questionário *online* foi desenvolvido com a plataforma Formulários Google e divulgada em listas de e-mails e redes sociais. As respostas foram obtidas durante o período de outubro/2016 a dezembro/2017.

A divulgação do questionário *online* possibilitou a participação de um público diverso. O único pré-requisito para o respondente participar da pesquisa consistiu em ser morador de edificação residencial multifamiliar de Florianópolis – SC. O questionário aplicado é apresentado no Apêndice A.

Foram considerados válidos os questionários respondidos na totalidade. A verificação de inconsistências nas respostas foi feita para cada questionário. O único tipo de inconsistência encontrada diz respeito às respostas dadas para a ocupação. A verificação apontou para uma interpretação equivocada, na qual o respondente preencheu o número total de horas em que ocupa cada ambiente quando deveria preencher os horários em que há ocupação.

3.2 DESENVOLVIMENTO DE MODELO ESTOCÁSTICO DE OCUPAÇÃO

Nesta subseção são apresentadas as etapas conduzidas para o desenvolvimento do modelo estocástico de comportamento do usuário. O modelo foi construído com base nos dados monitorados, obtidos por meio da aplicação de questionários a moradores de edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis. Trata-se de um modelo estocástico de ocupação, junto ao qual podem ser acopladas as demais interações do usuário com elementos da envoltória – janelas, persianas e sistemas de ar-condicionado. Os dados de ocupação foram monitorados de forma a relacionar a presença do usuário em determinado ambiente a uma variável temporal. Essa relação temporal foi explorada para criar um modelo estocástico de ocupação, o qual tem por objetivo prever o estado de ocupação no passo de tempo futuro.

O modelo estocástico de ocupação foi desenvolvido com base em cadeias de Markov de primeira ordem (GALLAGER, 2013). A abordagem utilizada é descrita como discreta no tempo e não-homogênea. Desse modo, as transições entre os estados de ocupação são consideradas apenas para números inteiros de passo de tempo, o qual equivale ao período de uma hora. Além disso, o tempo gasto em cada estado não influencia o estado futuro. A abordagem utilizada é caracterizada pela ausência de memória. Portanto, o estado de ocupação no passo de tempo futuro é dado em função do estado atual e do tempo.

Em função dos dados monitorados diferenciarem a ocupação em dias úteis e dias de final de semana, além da distinção por ambientes (sala e dormitório), o processo foi replicado quatro vezes.

3.2.1 Processamento dos dados de monitoramento

Os dados de ocupação monitorados foram organizados de modo a agrupar as respostas em quatro grupos, diferenciados por ambiente e por dia da semana. Dessa forma, as respostas fornecidas por cada usuário criaram quatro perfis diários de ocupação. Nesses perfis, os dados

coletados foram tratados de acordo com o estado binário. A representação do estado binário utilizou a convenção “0” para indicar ausência e “1” para presença. Os dados monitorados foram organizados de modo a apresentar em cada linha a ocupação preenchida por um respondente.

3.2.2 Estado inicial de ocupação

O processo de desenvolvimento do modelo estocástico demanda a definição de um estado inicial de ocupação. Esse estado inicial é fixado para o passo de tempo inicial. Por definição, o passo de tempo inicial corresponde ao período de uma hora, das 0h às 0h59. Portanto, deve-se definir se nesse passo de tempo o usuário encontra-se ausente ou presente. As probabilidades de transição só podem ser calculadas, uma vez conhecido o estado inicial.

Embora em uma abordagem simplificada o estado inicial possa ser definido arbitrariamente pelo pesquisador, a definição de uma probabilidade do estado inicial vincula-o aos dados monitorados.

A probabilidade do estado inicial é dada por um vetor (Equação 1), composto pelos percentuais de usuários ausentes e presentes, para o passo de tempo inicial.

$$P0 = \begin{bmatrix} t0 \\ t1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde:

P0 é a probabilidade do estado inicial;

t0 é o percentual de usuários ausentes no passo de tempo inicial;

t1 é o percentual de usuários presentes no passo de tempo inicial.

Os percentuais de usuários ausentes e presentes foram obtidos considerando todos os registros para cada grupo de respostas. Todo o processo de desenvolvimento do modelo estocástico de ocupação descrito, incluindo a etapa de definição de estado inicial de ocupação, foi replicado isoladamente para cada grupo de respostas – diferenciados em função do ambiente e do dia da semana.

3.2.3 Matrizes de probabilidade de transição

Na sequência, foram determinadas as probabilidades de transição. As transições consistem na alteração do estado de ocupação entre um passo de tempo e o seguinte. Para um modelo binário de ocupação, são possíveis quatro transições: estar ausente e permanecer ausente, chegar

ao ambiente, sair do ambiente, estar e permanecer no ambiente. Essas transições foram exploradas com base nos dados monitorados, para cada passo de tempo. Assim como os dados de ocupação monitorados, as transições têm base horária.

Para obter a probabilidade de transição, foi contabilizado o número de usuários que descreveram determinada transição, para cada passo de tempo. As probabilidades de transição são dadas por matrizes do tipo 2×2 , exemplificadas por meio da Equação 2.

$$T = \begin{bmatrix} t00 & t01 \\ t10 & t11 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Onde:

$t00$ representa os respondentes que estavam ausentes no passo de tempo atual e que permaneceram ausentes no passo de tempo futuro;

$t01$ representa os respondentes ausentes no passo de tempo atual que alteraram o estado para presente no passo de tempo futuro;

$t10$ representa os respondentes presentes no passo de tempo atual que alteraram o estado para ausente no passo de tempo futuro;

$t11$ representa os respondentes presentes no passo de tempo atual e futuro.

Cada matriz de probabilidades de transição foi calculada a partir da quantidade de usuários em cada estado nos passos de tempo atual e futuro, contabilizando assim as transições entre ausente e presente e vice-versa. Todas as probabilidades de transição são dadas em percentual. O percentual de usuários que estavam e permaneceram ausentes ($t00$) foi obtido pela razão entre o número de usuários ausentes em ambos os passos de tempo atual e futuro pelo somatório de usuários ausentes no passo de tempo atual. Do mesmo modo, foram obtidos os demais percentuais para as transições entre os estados de ocupação. Conforme descrito na Equação 3, cada linha da matriz de probabilidades de transição equivale a um.

$$t00 + t01 = t10 + t11 = 1 \quad (3)$$

Onde:

$t00 + t01$ corresponde à soma de todos os usuários ausentes no passo de tempo atual;

$t_{10} + t_{11}$ corresponde à soma de todos os usuários presentes no passo de tempo atual.

No total foram elaboradas 96 matrizes de probabilidade de transição, as quais foram denominadas de acordo com o passo de tempo, e.g. T_0 representa a transição entre os horários 00h e 00h59.

A Tabela 2 exemplifica as probabilidades de transição obtidas para a sala em dias úteis, para o período entre 23h e 23h59.

Tabela 2. Exemplo de probabilidades de transição obtidas a partir de uma cadeia de Markov de primeira ordem.

		Estado futuro	
		Usuários	0
Estado atual	0	98%	2%
	1	91%	9%

A partir dos percentuais obtidos, foram construídas as matrizes de probabilidades de transição, conforme o exemplo dado por meio da Equação 4.

$$T_{23} = \begin{bmatrix} 0,98 & 0,02 \\ 0,91 & 0,09 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Onde:

T_{23} é a matriz de probabilidades de transição para o período entre 23h e 23h59.

Todas as matrizes de probabilidades de transição foram construídas no Excel e posteriormente exportadas para o Matlab (MATH WORKS, 2013). Um script para o Matlab foi elaborado para processar as matrizes de probabilidades de transição e dar sequência ao desenvolvimento do modelo estocástico de ocupação.

3.2.4 Probabilidade de presença no passo de tempo futuro

A probabilidade de presença no passo de tempo futuro representa o resultado do modelo estocástico de ocupação. Para que essa predição seja calculada com base nos dados monitorados, foram utilizadas as matrizes de probabilidade de transição para cada um dos passos de tempo.

Em uma cadeia de Markov de primeira ordem, o estado de ocupação deve ser determinado a cada passo de tempo, utilizando como dado de entrada uma informação advinda do passo de tempo anterior, no caso trata-se do estado de ocupação anterior. Isso gera uma simulação dinâmica do perfil de ocupação. O processo de cálculo das probabilidades foi conduzido para cada passo de tempo. Contudo, o produto final corresponde a um perfil diário, o qual apresenta as transições entre os estados de ocupação, de acordo com as probabilidades encontradas.

A evolução da probabilidade de presença ao longo do tempo, conforme demonstrada por Wilke (2013), é apresentada na Equação 5.

$$\frac{dP}{dt} = TP \quad (5)$$

Onde:

P é o vetor que aponta a probabilidade de ausência e presença do usuário;

T é a matriz de probabilidades de transição;

TP é o produto de multiplicação de matrizes, cujo resultado é um vetor de probabilidade de presença no passo de tempo futuro.

O vetor TP, obtido para cada passo de tempo, apresenta a probabilidade de presença no passo de tempo futuro ($p_{(tn+1)}$), conforme mostra a Equação 6.

$$TP = \begin{bmatrix} (1-p)_{(tn+1)} \\ p_{(tn+1)} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Onde:

$(1-p)_{(tn+1)}$ é a probabilidade de ausência do usuário no passo de tempo futuro;

$p_{(tn+1)}$ é a probabilidade de presença no passo de tempo futuro.

O dado de probabilidade de presença no passo de tempo futuro ($p_{(tn+1)}$) calculado para determinado passo de tempo foi reinserido na simulação, a fim de obter a probabilidade de presença seguinte. Essa informação determina a ligação entre as cadeias de Markov, caracterizando-a como de primeira ordem.

Para estabelecer a ligação entre as cadeias de Markov foi utilizada a Equação 7, em concordância com o desenvolvimento elaborado por Wilke (2013).

$$p_{(tn+1)} = t11_{(tn)}p_{(tn)} + t01_{(tn)}(1 - p)_{(tn)} \quad (7)$$

Onde:

$p_{(tn+1)}$ é a probabilidade de o usuário estar presente no passo de tempo futuro;

$t11_{(tn)}$ é a probabilidade de o usuário permanecer presente;

$p_{(tn)}$ é a probabilidade de presença no passo de tempo atual;

$t01_{(tn)}$ é a probabilidade de o usuário chegar ao ambiente;

$(1-p)_{(tn)}$ é a probabilidade de ausência do usuário no passo de tempo atual.

Portanto, a probabilidade de presença no passo de tempo futuro considera ambas as probabilidades de que o usuário já estava e permaneceu presente no ambiente, bem como a probabilidade de o usuário chegar ao ambiente.

3.2.5 Perfis estocásticos de ocupação

O modelo estocástico de ocupação processa cada probabilidade de presença no passo de tempo futuro e reinsere essa informação na cadeia de Markov para obter a probabilidade seguinte. Com o repetido incremento de um passo de tempo, o processo estocástico resulta em um perfil probabilístico de ocupação. Entretanto, o perfil resultante é idêntico a cada nova simulação, visto que utiliza a mesma base de dados e, consequentemente, os valores das matrizes de probabilidade de transição não são alterados.

O desenvolvimento do modelo estocástico de ocupação foi baseado em cadeia de Markov não-homogênea no tempo. Desse modo, considerou-se que o estado de ocupação no passo de tempo futuro depende do estado atual de ocupação e do tempo. Ademais, a característica não-homogênea do processo estocástico utilizado faz com que o estado de ocupação independa da duração do estado anterior. De acordo com Andersen et al. (2014), os modelos estocásticos não-homogêneos no tempo apresentam resultados mais satisfatórios, em comparação com modelos homogêneos. Os resultados do estudo anterior mostraram que os modelos não-homogêneos reproduziram mais adequadamente as principais tendências dos dados de ocupação.

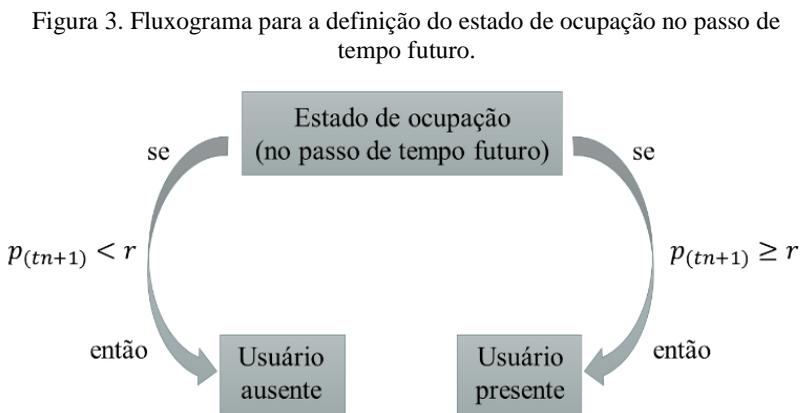
Melhores resultados também foram encontrados para os modelos desenvolvidos com base em cadeias de Markov de primeira ordem, em comparação com modelo de ordem mais alta (WILKE, 2013). Esses resultados corroboram com o princípio de que a complexidade do modelo de comportamento do usuário deve ser dada pelo objetivo do estudo, conforme discutido por Gaetani; Hoes; Hensen (2016).

Para que os perfis estocásticos reproduzam a aleatoriedade inerente ao comportamento do usuário, foi incluída uma etapa ao processo de desenvolvimento do modelo estocástico em que o valor resultante da probabilidade de presença no passo de tempo futuro é comparado com um número aleatório. Essa comparação é responsável pela criação de um fator de aleatoriedade. Com isso, garante-se que o perfil resultante demonstre variações a cada passo de tempo, algo característico do comportamento do usuário real, mas ainda mantenha as mesmas tendências comuns à base de dados.

A comparação da probabilidade de presença no passo de tempo futuro com um número aleatório uniformemente distribuído $r \in [0,1[$ resulta em duas possibilidades para o modelo estocástico de ocupação:

- (1) se $p_{(tn+1)} < r$, considera-se que o usuário está ausente para aquele passo de tempo.
- (2) se $p_{(tn+1)} \geq r$, determina-se a presença do usuário para aquele passo de tempo.

O fluxograma apresentado na Figura 3 demonstra como é definido o estado de ocupação no perfil estocástico.



Por fim, o comportamento de um único usuário é descrito por quatro perfis diários que caracterizam a presença nos diferentes ambientes e dias da semana.

3.2.6 Análise comparativa dos perfis de ocupação monitorados e preditos

A análise comparativa dos perfis de ocupação monitorados e preditos é conduzida com o objetivo de verificar como o processo estocástico aplicado aos dados de monitoramento utiliza-os de forma indireta na construção de perfis de ocupação.

Os perfis de ocupação monitorados serão elaborados utilizando os dados de monitoramento de forma direta. Para considerar todas as respostas obtidas para os horários em que os respondentes ocupam cada ambiente, os perfis monitorados utilizaram os percentuais de usuários presentes em cada horário.

O modelo estocástico de ocupação tem por objetivo prever o comportamento do usuário. No processo estocástico desenvolvido, são obtidas probabilidades de presença do usuário para cada passo de tempo, correspondente a uma hora. Os perfis preditos, utilizados para essa análise comparativa, correspondem a perfis diários construídos a partir dos resultados de probabilidade de presença no passo de tempo futuro. Os perfis preditos utilizados para a análise comparativa diferem dos perfis estocásticos de ocupação obtidos por meio da simulação do modelo desenvolvido, visto que não apresentam a mesma aleatoriedade. A elaboração dos perfis preditos não considerou a etapa final do modelo estocástico, na qual os dados de saída de probabilidade de presença no passo de tempo futuro são comparados com um número aleatório para então informar sobre o estado de ocupação no ambiente.

A reprodução de tendência e principais variações dos estados de ocupação foram os indicadores utilizados para comparar os perfis de ocupação monitorados e preditos.

3.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO COMBINADO A VARIÁVEIS DA ENVOLTÓRIA

A análise da influência do comportamento do usuário combinado a variáveis da envoltória no desempenho termoenergético de edificações residenciais multifamiliares foi conduzida mediante a aplicação do modelo estocástico de ocupação desenvolvido em estudo do desempenho térmico e energético de edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis.

Os perfis estocásticos de ocupação gerados pelo modelo desenvolvido, juntamente com perfis estáticos de operação de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas obtidos diretamente da base de dados monitorados foram utilizados para configurar o comportamento do usuário nas diferentes unidades habitacionais que compõem o pavimento tipo da edificação.

A definição do objeto de estudo considerou a congruência entre os dados monitorados de comportamento do usuário, buscando assim representar edificações similares àquelas ocupadas pelos respondentes. Uma análise de agrupamento permitiu identificar, dentre uma amostra de empreendimentos recentemente construídos em Florianópolis, exemplares representativos das principais características observadas em projeto arquitetônico das unidades habitacionais. O objeto de estudo consiste em planta baixa de pavimento tipo cujas unidades habitacionais são representativas da amostra de empreendimentos analisados.

O comportamento do usuário foi inserido nos modelos computacionais do pavimento tipo, de modo a caracterizar um usuário diferente para cada unidade habitacional. Inicialmente, foram inseridos os dados de entrada referentes à ocupação. Na sequência, as informações referentes à operação de janelas, persianas e sistema de ar-condicionado foram acrescentadas de forma vinculada a duas variáveis explicativas: tempo e ocupação. A caracterização do comportamento do usuário nas simulações computacionais buscou representar os resultados encontrados no monitoramento.

Com o intuito de analisar a influência combinada do comportamento do usuário com variáveis da envoltória no desempenho termoenergético da edificação, foram destacadas características termofísicas de paredes externas e de áreas envidraças. O planejamento das simulações foi realizado por meio do método de projeto de experimentos (BOX; HUNTER; HUNTER, 2005), permitindo que todas as combinações entre as variáveis da envoltória fossem consideradas. A análise de resultados por meio dos efeitos principais e de combinação indicou as variáveis da envoltória que apresentaram maior influência sobre o desempenho termoenergético do objeto de estudo.

3.3.1 Definição do objeto de estudo

A definição do objeto de estudo para aplicação do modelo de comportamento do usuário em simulações computacionais buscou manter a congruência entre os dados. Dessa forma, o objeto de estudo deve consistir em exemplar de edificação residencial multifamiliar construído e em uso em Florianópolis. A congruência entre os dados reflete a

existência de informações intrínsecas dos usuários nos dados monitorados, relacionados à cultura, clima local e tipologia da edificação.

O modelo estocástico de ocupação foi desenvolvido com base em dados monitorados e, portanto, mantém relação com características intrínsecas desses dados, relacionadas à cultura, clima local e tipologia da edificação. A configuração do comportamento do usuário em unidades habitacionais de uma edificação residencial multifamiliar de Florianópolis de acordo com os resultados obtidos por meio do modelo desenvolvido representam a aplicação que mais se aproxima de cenários reais de uso.

Para isso, foram pesquisados os últimos empreendimentos entregues por uma das principais construtoras de Florianópolis. O material para pesquisa fornecido pela construtora consistiu em projeto arquitetônico das edificações, com enfoque nas plantas baixas dos pavimentos tipos. Foram levantadas as seguintes características de cada empreendimento, com base no material recebido:

- Quantidade de unidades habitacionais por pavimento;
- Tipos de layout de unidades habitacionais por pavimento;
- Quantidade de unidades habitacionais de cada layout;
- Espessura das paredes externas;
- Espessura das paredes internas;
- Quantidade de dormitórios;
- Área total da unidade habitacional;
- Área da sala;
- Área de cada dormitório;
- Área de abertura da sala;
- Área de abertura de cada dormitório.

Por meio da análise das características projetuais, foram identificados e excluídos os espúrios. Nesse caso, os espúrios representam empreendimentos cujas características os diferenciam significativamente do restante da amostra, seja quanto às áreas de piso, áreas de abertura ou quantidade de dormitórios.

De posse dessas informações, foi conduzida uma análise de agrupamento, a fim de identificar características projetuais comuns aos empreendimentos e selecionar uma edificação representativa da amostra.

A análise de agrupamento utilizou as informações de cada unidade habitacional, tais como: área total da unidade habitacional, área da sala, área média do dormitório, área de abertura da sala, área média de abertura do dormitório e quantidade de dormitórios.

Não foi utilizada a informação de orientação solar para a análise de agrupamento, em vista de alguns empreendimentos possuem múltiplos

blocos e, portanto, orientações solares diferentes para cada planta baixa. Apesar disso, a orientação solar é uma característica de importância fundamental para este estudo e será abordada como uma variável da envoltória na subseção 3.3.2.

A análise de agrupamento consistiu em três etapas: (1) tratamento das variáveis, (2) cálculo das distâncias entre objetos e (3) partição dos objetos em grupos. As três etapas foram realizadas com auxílio do programa Minitab 17 (MINITAB INC., 2013). A análise de agrupamento foi conduzida utilizando as características da unidade habitacional, assim, cada empreendimento foi subdividido em diversos objetos. Cada objeto faz referência a uma tipologia de unidade habitacional.

Inicialmente, os dados referentes às características das unidades habitacionais foram padronizados. A padronização das variáveis faz com que as médias sejam igualadas a zero e, as variâncias a um. Desse modo, as variáveis passam a ter o mesmo peso dentro da análise de agrupamento, i.e., a escala das diferentes variáveis não influencia no resultado.

Após o tratamento das variáveis, foram calculadas as distâncias entre cada par de objetos da amostra, de acordo com a Equação 8. A medida utilizada foi a distância euclidiana quadrada.

$$d_{AB} = \sum_{i=1}^p (x_{iA} - x_{iB})^2 \quad (8)$$

Onde:

d_{AB} é a distância euclidiana quadrada entre os objetos A e B;

x_{iA} é o valor do objeto A para cada variável;

x_{iB} é o valor do objeto B para cada variável.

A distância euclidiana quadrada obtida para cada par de objetos caracteriza-os quanto a sua similaridade ou diferença. O processo de partição utiliza esses valores para subdividir a amostra com base na similaridade de seus objetos. Durante a partição, unidades habitacionais de características semelhantes foram agrupadas, de acordo com a técnica hierárquica de partição e o Método de Ward (HAIR et al., 2009). O Método de Ward é um dos algoritmos desenvolvidos para o processo de partição, o qual utiliza a soma dos quadrados residuais dentro de cada grupo para separar os grupos de objetos. Na técnica hierárquica de partição, dois objetos são analisados em cada etapa. Esse processo culmina com a construção de um dendograma que apresenta todos os objetos analisados (eixo horizontal) e o grau de similaridade a cada etapa

de partição (eixo vertical). O dendograma permite que, a partir de uma análise visual, sejam identificados os diferentes grupos. Entretanto, o número ideal de grupos é dado em função do nível de similaridade. A etapa cujo nível de similaridade obtido for relativamente superior aos anteriores determina a linha de corte do dendograma e, por consequência, o total de grupos resultantes.

A identificação de objeto representativo de cada grupo baseou-se na seleção daqueles com a menor distância até o centroide de seu respectivo grupo. Esses objetos representativos são tipologias de unidade habitacional cujas características são comuns aos demais objetos de mesmo grupo.

O objeto de estudo foi definido pela planta de pavimento tipo que abrange a unidade habitacional identificada como representativa. Desse modo, a aplicação do modelo estocástico de comportamento do usuário foi conduzida de forma vinculada a exemplares reais de edificações residenciais multifamiliares em uso em Florianópolis.

3.3.1.1 Configuração das propriedades térmicas do modelo computacional

A construção do modelo computacional do pavimento tipo da edificação residencial multifamiliar foi realizada com o programa de simulação termoenergética EnergyPlus (v.8.9.0), juntamente com o auxílio do *plugin* OpenStudio. A modelagem computacional da geometria da edificação, bem como a definição das zonas térmicas referentes a cada ambiente foram realizadas por meio do *plugin* OpenStudio. Demais dados inerentes à modelagem da edificação foram configurados diretamente no EnergyPlus. A configuração das propriedades térmicas dos materiais que compõem a envoltória teve como base a NBR 15220 (ABNT a, 2005) e Weber et al. (2017).

Considerou-se a edificação residencial multifamiliar, da qual foi modelada o pavimento tipo, implantada de forma isolada no terreno. Assim, a influência do entorno não foi incluída no escopo do estudo. Em vista do modelo computacional abranger somente o pavimento tipo da edificação residencial multifamiliar, as superfícies de piso e cobertura foram configuradas como adiabáticas.

As paredes internas e externas foram diferenciadas quanto às propriedades termofísicas. As paredes internas são compostas de bloco cerâmico com dimensões 9x14x24 cm, com camadas de argamassa interna e externa (com espessura de 2,5 cm). A composição dos materiais que compõem as paredes internas apresenta transmitância térmica de 2,39 W/m²K e capacidade térmica de 150 kJ/m²K.

A composição de paredes externas será apresentada na subseção 3.3.2., tendo em vista que esse elemento foi considerado como uma das variáveis da envoltória e, portanto, foi configurado com diferentes valores. O mesmo aplica-se às características do vidro das aberturas. No entanto, as dimensões e posicionamento das aberturas foram dados em função do projeto arquitetônico da edificação.

A densidade de cargas térmicas internas referentes a pessoas, equipamentos e iluminação foram inseridas de acordo com Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INSTITUTO..., 2012) e ASHRAE *Handbook of Fundamentals* (2005). A Tabela 3 apresenta os valores utilizados para taxas metabólicas e potências instaladas de equipamentos e iluminação.

Tabela 3. Cargas térmicas internas configuradas para cada zona térmica.

Zona térmica	Taxa metabólica [W/m ²]	Potência instalada de equipamentos [W/m ²]	Potência instalada de iluminação [W/m ²]
Sala	60	1,5	6,0
Dormitórios	45	-	5,0

O uso de equipamentos e do sistema de iluminação foram configurados de acordo com os perfis estáticos fornecidos pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INSTITUTO..., 2012). Apesar de influenciar o consumo de energia e as cargas térmicas internas, o uso de equipamentos e do sistema de iluminação não foram considerados por este estudo como parte do conjunto de informações que define o comportamento do usuário.

As taxas metabólicas foram multiplicadas por uma área de superfície média de 1,8 m² por pessoa, conforme indicado nas referências acima (INSTITUTO..., 2012; ASHRAE, 2005). Estabeleceu-se a quantidade diferente de pessoas para cada ambiente, sendo de dois usuários para a sala e dormitório principal, e um usuário para cada um dos demais dormitórios. Os perfis de ocupação dos ambientes de longa permanência foram fornecidos pelo modelo estocástico de ocupação. Similarmente, foram utilizados os resultados do monitoramento do comportamento do usuário para configurar as operações de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas.

Os ambientes das unidades habitacionais foram configurados com ambos equipamentos de sistema de ar-condicionado e ventilação natural.

Contudo, o uso de cada estratégia está condicionado ao comportamento do usuário dado por meio dos perfis estáticos de operação de janelas e sistema de ar-condicionado.

O sistema de ar-condicionado foi representado por equipamentos do tipo *split* ciclo reverso. Foram utilizados os objetos do grupo *HVAC Template* do programa EnergyPlus para configurar o sistema. As unidades individuais de condicionamento artificial foram configuradas a partir do objeto *UnitarySystem*. Foram utilizadas as temperaturas de termostato de 18°C e 24°C para as funções de aquecimento e resfriamento, respectivamente. A capacidade de resfriamento do sistema foi definida mediante auto dimensionado.

A ventilação natural foi configurada utilizando o grupo de objetos *AirflowNetwork*. Dentro dessa configuração, é representado um nó de pressão no centro de cada zona térmica. Os ambientes de longa permanência foram configurados com livre circulação de ar entre eles, i.e., portas internas foram mantidas abertas, exceto quando o sistema de ar-condicionado está acionado. Para lavabos e banheiros foram configuradas portas sempre fechadas.

As persianas internas representam um dispositivo de sombreamento, o qual foi configurado a partir dos objetos *WindowProperty* e *WindowMaterial:Blind*. O tipo de operação das persianas foi configurado com o primeiro objeto, vinculando a operação aos perfis estáticos obtidos pelo monitoramento. O segundo objeto foi utilizado para caracterizar a persiana, a qual consiste em persiana vertical em tecido claro, com lâmina de 5 mm espaçadas a cada 5 mm em ângulo de 45° (refletância solar de 0,67 e condutividade térmica de 0,9 W/mK). O mesmo tipo de persiana interna foi configurado em todas as unidades habitacionais, inclusive sem modificações entre os ambientes de sala e dormitório.

3.3.1.2 Variável dependente obtida com o modelo computacional

Por meio das simulações computacionais foi obtida a variável dependente de temperatura operativa para todas as zonas térmicas. Os dados de temperatura operativa horária para os ambientes de longa permanência foram utilizados para obter os resultados anuais de graus hora de aquecimento e de resfriamento. Os graus hora de aquecimento e de resfriamento são indicadores de desempenho térmico obtidos pela diferença entre a temperatura operativa da zona térmica e temperaturas limítrofes (inferior e superior) para aceitabilidade de conforto térmico. Foram utilizados os limites de 18°C e 26°C para determinar os graus hora de aquecimento e resfriamento, respectivamente. Os graus hora são

frequentemente empregados em análises de desempenho térmico de edificações naturalmente ventiladas, em função de considerarem condições de conforto térmico sem o uso de condicionamento artificial (VERSAGE, 2009). Para os períodos em que o sistema de ar-condicionado for acionado, as temperaturas operativas do ambiente permanecerão dentro de limites respeitando o conforto térmico dos usuários. Assim, esses indicadores de desempenho térmico podem ser utilizados também para simulações de edificações com uso híbrido de ventilação natural e sistema de ar-condicionado.

Adicionalmente, foram obtidos consumos anuais para o sistema de ar-condicionado, para cada unidade habitacional, como dados de saída das simulações computacionais.

3.3.1.3 Arquivo climático e caracterização do clima local

As simulações computacionais foram conduzidas para o clima de Florianópolis – SC. Foi utilizado o arquivo climático TRY (*Test Reference Year*) de Florianópolis (LABEEE, 2018), o qual apresenta os dados climatológicos para um ano representativo dentre aqueles obtidos para uma série histórica. O arquivo climático TRY foi considerado por sua representatividade em estudos de desempenho térmico e energético de edificações (VERSAGE, 2015).

A cidade de Florianópolis está localizada em uma ilha no Estado de Santa Catarina, região Sul do Brasil (latitude 27°36' S, longitude 48°33'O e altitude de referência de 7 m). O clima local é caracterizado como subtropical úmido. Verifica-se a existência de estações bem definidas, com temperaturas altas durante o verão e moderadas no inverno. A precipitação distribui-se ao longo do ano, com índices pluviométricos mais altos entre dezembro e março e, sem período de seca. O vento predominante em todas as estações do ano tem orientação Nordeste. O zoneamento bioclimático brasileiro posiciona Florianópolis na Zona Bioclimática 3 (ABNT b, 2005).

3.3.2 Seleção das variáveis da envoltória e de seus níveis

As variáveis da envoltória foram selecionadas para o estudo de sua influência, combinada ao comportamento do usuário, no desempenho termoenergético de edificações residenciais multifamiliares. A seleção das variáveis da envoltória embasou-se em estudos anteriores, nos quais foram identificadas as características de paredes e vidros com influência significativa no desempenho termoenergético de edificações (INVIDIATA; LAVAGNA; GHISI, 2018; BRE et al., 2016; SILVA; GHISI, 2014).

Ao considerar o pavimento tipo como intermediário da edificação residencial multifamiliar para as simulações computacionais, as superfícies de piso e cobertura assumem característica adiabática. Desse modo, as variáveis da envoltória concentraram-se nas características das paredes externas e áreas envidraçadas da fachada. Com a seleção de variáveis referentes às paredes externas e áreas envidraçadas buscou-se representar as propriedades termofísicas que melhor caracterizam a envoltória da edificação.

A orientação solar da edificação, característica fundamental do projeto arquitetônico, foi selecionada por caracterizar a fachada da edificação quanto à incidência de radiação solar direta e à direção dos ventos predominantes do local. As paredes externas foram definidas por sua composição e a absorvância solar da superfície externa. Por meio da composição dos materiais que compõem as paredes externas foi possível incluir diferentes valores de transmitância térmica e capacidade térmica. Para as áreas envidraçadas, a variável selecionada foi o fator solar dos vidros.

Os níveis de cada variável da envoltória foram determinados de forma a caracterizar um valor inferior e outro superior dentro da variação observada em práticas comuns de construção de edificações residenciais multifamiliares. A denominação dos níveis inferior e superior é oriunda do método de projeto de experimentos, e não indica para o desempenho térmico e energético da edificação obtido a partir da configuração de tais valores.

As variáveis da envoltória selecionadas e os seus níveis são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Variáveis da envoltória selecionadas e seus níveis.

Variáveis da envoltória	Nível inferior	Nível superior
Orientação solar	Norte-Sul	Leste-Oeste
Composição das paredes externas	U=2,55 W/m ² K C=100 kJ/m ² K	U=0,63 W/m ² K C=439 kJ/m ² K
Absortância solar das paredes externas	0,20	0,80
Fator solar dos vidros	0,25	0,87

Os níveis da orientação solar foram definidos pela rotação do pavimento tipo da edificação em 90°, de modo a variar a orientação solar da fachada principal nos eixos Norte-Sul e Leste-Oeste.

Com a seleção de duas composições de paredes externas buscou-se variar as propriedades termofísicas de transmitância térmica e capacidade térmica. A primeira composição selecionada consiste nas seguintes camadas: argamassa interna (espessura de 2,5 cm), bloco cerâmico com dimensões 9x14x24 cm e placa de gesso (espessura de 2,0 cm).

A segunda composição de parede externa consiste em: argamassa interna (espessura de 2,5 cm), bloco de concreto com dimensões 14x19x39 cm, câmara de ar intermediária (espessura de 8,0 cm) a outro bloco de concreto de mesmas dimensões e argamassa externa (espessura de 2,5 cm). Os valores para as propriedades termofísicas das composições de paredes externas selecionadas foram descritos em concordância com o estudo de Weber et al. (2017). Ressalta-se que as paredes internas mantiveram a mesma configuração para todas as simulações e diferenciam-se das paredes externas.

Os níveis da absorptância solar foram definidos a partir dos extremos encontrados em exemplos de edificações residenciais multifamiliares construídas em Florianópolis. Comumente, a fachada dessas edificações possui mais de uma cor, sendo uma predominante e outra destinada a detalhes, e.g. sacadas. Os níveis definidos tratam da absorptância solar da cor predominante da fachada. Nas simulações computacionais, as paredes externas foram configuradas com uma absorptância solar única. Os níveis inferior e superior adotados para a absorptância solar correspondem a pinturas da fachada em cores clara e escura, respectivamente (ABNT a, 2005).

O fator solar de elementos transparentes ou translúcidos, conforme definição da NBR 15220, é a razão entre a radiação solar transmitida através de componente transparente mais a parcela absorvida e posteriormente, transmitida para o interior, pela radiação solar total incidente sob a superfície externa do elemento. O nível inferior definido para o fator solar corresponde ao vidro de controle solar verde com espessura total de 6 mm e o nível superior corresponde a vidro simples incolor com 3 mm de espessura (YAMAKAWA e WESTPHAL, 2011). As propriedades dos vidros selecionados são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Propriedades dos vidros selecionados.

Propriedade	Vidro de controle solar (Nível inferior)	Vidro comum (Nível superior)
Espessura [m]	0,006	0,003
Transmitância solar em incidência normal	0,12	0,84
Refletância solar posição 1	0,29	0,07
Refletância solar posição 2	0,44	0,07
Transmitância visível em incidência normal	0,14	0,9
Refletância visível posição 1	0,32	0,08
Refletância visível posição 2	0,40	0,08
Transmitância infravermelho em incidência normal	0	0
Emissividade hemisférica infravermelho posição 1	0,84	0,84
Emissividade hemisférica infravermelho posição 2	0,33	0,84
Condutividade térmica [W/mK]	1	1
Fator solar	0,25	0,87

3.3.3 Configuração do comportamento do usuário no modelo computacional

A combinação de variáveis de estudos por meio do projeto de experimentos demanda a determinação de até três níveis – inferior, intermediário, superior – que representem a gama de valores que determinada variável pode assumir.

A seleção das variáveis da envoltória e de seus níveis demonstrou como essas variáveis puderam ser caracterizadas a partir de dois níveis, sem aumento da granularidade da informação. Com base nos níveis inferior e superior, a influência da variável de estudo sobre a variável resposta é analisada no projeto de experimentos.

Entretanto, a determinação de dois níveis para o comportamento do usuário exige que todos os dados obtidos sejam restringidos a dois perfis extremos, a fim de representar toda a gama de comportamentos verificados no monitoramento. O uso de perfis extremos do

comportamento do usuário foi conduzido em estudos anteriores apresentando resultados generalistas, e por vezes, previsíveis.

Perfis estáticos são obtidos por meio da sintetização dos dados de comportamento do usuário na sua busca por representar toda a amostra a partir de perfis representativos. Os resultados alcançados com a aplicação de perfis estáticos representam um usuário genérico e irreal.

Em comparação, perfis estocásticos representam a predição do estado, em função de determinada variável explicativa. O desenvolvimento de modelos estocásticos do comportamento do usuário considera todas as probabilidades de transição entre os estados e por conta disso, a utilização dos perfis estáticos alcança resultados mais precisos quanto à representação do uso real da edificação.

Em vista do apresentado, ponderou-se que variar o comportamento do usuário em apenas dois níveis fixos por meio do projeto de experimento acarretaria em perda da precisão dos resultados. Ademais, propõe-se que o comportamento do usuário seja combinado à variação da envoltória, contudo buscando se aproximar de cenários reais de uso da edificação.

Dessa forma, o comportamento do usuário foi configurado nas simulações computacionais a partir dos resultados obtidos com o modelo estocástico de ocupação. A cada nova simulação, o modelo forneceu perfis diários de ocupação, diferenciando entre períodos da semana e ambientes de longa permanência. No caso dos dormitórios, o mesmo perfil de ocupação foi configurado para todos os dormitórios da unidade habitacional. A aplicação do modelo de ocupação mediante simulações computacionais foi realizada com a inserção desses perfis como dados de entrada.

A variação do comportamento do usuário nas simulações computacionais foi realizada a partir da configuração de perfis diferentes em cada unidade habitacional. Essa variação dos perfis de comportamento permitiu que as simulações fossem conduzidas considerando diferentes usuários.

Os perfis gerados pelo modelo estocástico de ocupação apresentam variações a cada nova simulação referente aos horários em que ocorrem as transições de estado de ocupação e também quanto à duração da ocupação. Apesar disso, todos os perfis reproduzem as principais tendências verificadas para o comportamento da amostra, de acordo com o observado no monitoramento.

Posteriormente à configuração da ocupação, perfis estáticos para as operações de janelas, persianas e sistema de ar-condicionado foram inseridos no modelo computacional. A definição dos perfis estáticos a

serem configurados nas simulações computacionais considerou o percentual de respostas obtidas para cada modo de operação descrito no monitoramento do comportamento do usuário. Esses percentuais foram multiplicados pelo número total de unidades habitacionais do pavimento tipo, obtendo como resultado a quantidade de unidades que deveria ser configurada com cada modo de operação. O processo foi conduzido separadamente para as operações de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas.

Em vista do número superior de modos de operação em comparação com a quantidade de unidades habitacionais do pavimento tipo, somente aqueles com maior frequência de respostas puderam ser utilizados para configurar as simulações computacionais.

O método utilizado para configurar as operações de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas buscou reproduzir a mesma proporção das respostas verificadas no monitoramento do comportamento do usuário.

3.3.4 Planejamento das simulações computacionais

O projeto de experimentos (BOX; HUNTER; HUNTER, 2005) consiste em um método utilizado para planejar experimentos garantindo que sejam consideradas todas as combinações possíveis entre as variáveis de estudo e seus níveis. Além disso, o método propicia a análise do efeito de uma variável independente sobre a variável resposta, permitindo identificar aquelas que apresentam maior influência.

O projeto de experimentos aplicado neste estudo utilizou dois níveis para cada variável, representando valores inferior e superior encontrados em exemplos de edificações residenciais multifamiliares. A demanda total de simulações necessárias para analisar a influência de todas as variáveis e níveis é dada por 2^k , onde k é a quantidade de variáveis estudadas.

As combinações entre variáveis e seus níveis foram organizadas em uma matriz de experimentos, utilizando os sinais (-) e (+) para indicar os níveis inferior e superior de cada variável, respectivamente. A matriz de experimentos foi elaborada a partir de 2^{c-1} linhas com o sinal (+) alternadas por 2^{c-1} linhas com o sinal (-), sendo c o número da coluna. Desse modo, a primeira coluna foi construída intercalando-se um sinal (+) com um sinal (-). A segunda coluna foi preenchida com dois sinais (+) seguidos de dois sinais (-), seguindo-se até o preenchimento completo da matriz de experimentos.

O planejamento das simulações foi conduzido com base na matriz de experimentos, de forma que cada linha definiu os níveis em que deveriam ser configuradas as variáveis de estudo.

As simulações foram conduzidas conforme o planejamento e os dados de saída de temperatura operativa foram utilizados para obter as variáveis respostas de graus hora de aquecimento e de resfriamento.

A influência de cada variável de estudo foi dada em função de seu efeito principal sobre as variáveis respostas. O efeito principal é definido como a variação média do resultado da variável resposta quando a variável de estudo é alterada do nível inferior para o nível superior, enquanto as demais variáveis são mantidas constantes. O efeito principal é dado por meio da Equação 9.

$$E = \bar{y}_{(+)} - \bar{y}_{(-)} \quad (9)$$

Onde:

E é o efeito principal;

$\bar{y}_{(+)}$ é a média dos resultados obtidos com a variável no nível superior;

$\bar{y}_{(-)}$ é a média dos resultados obtidos com a variável no nível inferior.

O projeto de experimentos garante que o mesmo número de simulações seja realizado com determinada variável no nível inferior e superior. Esse equilíbrio garante que cada efeito estimado não seja afetado pela magnitude nem pelo sinal dos demais efeitos (BOX; HUNTER; HUNTER, 2005).

Cada variável de estudo obteve $2n-1$ resultados, sendo um para cada combinação com as demais variáveis. Assim, o efeito principal de determinada variável é obtido conforme a Equação 10 (HERMES, 2006).

$$E = 2^{1-k} \left[\sum y_{(+)} - \sum y_{(-)} \right] \quad (10)$$

Onde:

E é o efeito principal;

k é a quantidade de variáveis de estudo;

$y_{(+)}$ são os resultados obtidos com a variável no nível superior;

$y_{(-)}$ são os resultados obtidos com a variável no nível inferior.

Do mesmo modo, o efeito principal de cada uma das variáveis de estudo pode ser obtido utilizando os sinais da matriz de experimentos.

Variáveis de estudo cujos efeitos podem ser somados são denominadas aditivas e, caracterizadas pela ausência de combinação entre variáveis. A combinação de variáveis é observada quando o efeito de uma depende do nível em que encontram-se as demais. Essa característica não-aditiva é explorada pelos efeitos de combinação.

Os efeitos de combinação foram obtidos novamente utilizando a matriz de experimentos. Porém, para o cálculo dos efeitos de combinação, os sinais da matriz de experimentos foram multiplicados entre as variáveis combinadas.

3.3.5 Efeitos principais e de combinação

Os resultados obtidos para os indicadores de desempenho térmico e energético foram utilizados por meio do projeto de experimentos para obter a influência de cada variável da envoltória sobre as variáveis respostas, as quais consistem nos indicadores de desempenho termoenergético de graus hora de resfriamento e de aquecimento.

A influência de uma variável sobre cada um dos indicadores de desempenho é dada pelo efeito principal. Similarmente, o efeito de combinação representa a influência de uma combinação de variáveis sobre os graus hora de resfriamento ou de aquecimento. Para cada variável e combinação entre variáveis da envoltória foram obtidos dois valores de efeitos, um para cada indicador de desempenho termoenergético.

A análise dos resultados de efeitos principais e de combinação considera o sinal e a grandeza dos valores obtidos. O sinal do efeito resultante indica o sentido da influência da variável da envoltória sobre as variáveis respostas. Um efeito com sinal positivo indica que ao alterar o nível da variável em análise obteve-se como resultado o aumento da variável resposta. Visto que as variáveis respostas são referentes aos graus hora de aquecimento e de resfriamento, o sinal positivo do efeito mostra que a alteração no nível de determinada variável da envoltória prejudicou o desempenho termoenergético da edificação.

Os resultados de efeitos principais e de interação foram analisados por meio da comparação dos valores obtidos. A maior influência sobre o desempenho termoenergético da edificação é atribuída à variável da envoltória (ou combinação de variáveis) que obtiver o maior valor (em módulo) de efeito.

3.3.6 Verificação dos perfis estocásticos de ocupação

Uma verificação dos perfis estocásticos de ocupação foi proposta como forma de analisar a reprodução do comportamento do usuário por parte do modelo desenvolvido e sua concordância com os dados monitorados.

A verificação proposta consiste em simular o pavimento tipo da edificação residencial multifamiliar variando somente a ocupação dos ambientes de longa permanência, de acordo com perfil estocástico resultante do modelo desenvolvido. Foram conduzidas quatro simulações do mesmo objeto de estudo. O número de simulação foi definido arbitrariamente. Em cada simulação, um perfil estocástico de ocupação foi utilizado para configurar todas as unidades habitacionais do pavimento tipo.

As simulações utilizadas para a verificação dos perfis estocásticos demandam que todas as demais configurações do modelo computacional sejam mantidas constantes.

A envoltória da edificação para essas simulações utilizou as seguintes configurações:

- Composição das paredes externas idêntica às paredes internas (transmitância térmica de 2,39 W/m²K e capacidade térmica de 150 kJ/m²K);

- Absortância solar igual a 0,8;

- Orientação solar no eixo Leste-Oeste;

- Fator solar dos vidros de 0,87.

O comportamento do usuário referente às operações de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas foi configurado utilizando perfis estáticos. Os modos de operação selecionados para configurar todas as unidades habitacionais correspondem àqueles que obtiveram maior percentual de respostas, conforme verificado para a base de dados monitorados.

O dado de saída das simulações computacionais consistiu nas temperaturas operativas das zonas térmicas, as quais foram utilizadas para obter graus hora de resfriamento e de aquecimento para os ambientes de longa permanência. A análise dos resultados comparou os valores encontrados para os indicadores de desempenho termoenergético considerando todo o pavimento tipo.

A verificação da reprodução do comportamento do usuário foi conduzida por meio da comparação dos resultados obtidos para os indicadores ao variar somente os perfis estocásticos de ocupação.

Foram encontradas outras propostas de verificação (ou de validação, conforme denominada por alguns autores) dos modelos estocásticos, nas quais os resultados obtidos foram comparados com dados monitorados com o uso de equipamentos. Ainda que utilizando métodos diferentes, a verificação do modelo estocástico foi conduzida com o mesmo propósito de analisar os resultados obtidos quanto a sua convergência com o uso real da edificação.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos por meio da aplicação do método são apresentados em três subseções, compreendendo as principais etapas deste trabalho. Primeiramente são apresentados os resultados do monitoramento do comportamento do usuário por meio da aplicação de questionários, durante o qual são discutidas as principais características verificadas para a base de dados criada. Na sequência, o modelo estocástico de ocupação é apresentado juntamente com a demonstração dos resultados das simulações. Por fim, são apresentados os resultados da aplicação do modelo estocástico de ocupação e demais dados de comportamento do usuário mediante simulações computacionais de um pavimento tipo de edificação residencial multifamiliar. Diante de tais resultados, são analisadas as influências do comportamento do usuário e de variáveis da envoltória no desempenho termoenergético do objeto de estudo.

4.1 MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

A aplicação do questionário online resultou em 164 respostas sobre o comportamento do usuário em edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis. Os questionários recebidos foram analisados individualmente quanto a inconsistências nas respostas, a fim de manter somente os questionários cujas respostas foram completas e válidas. Foram encontrados seis questionários em que as respostas referentes à ocupação não estavam de acordo. Nesses questionários, os respondentes preencheram o total de horas que ocupam cada um dos ambientes, quando deveriam assinalar os horários em que há ocupação nos mesmos. Com a desconsideração dos mesmos, obteve-se um total de 158 respostas válidas. Dos 158 questionários válidos, houve dois respondentes que não opinaram sobre os motivos para a operação de janelas e, cinco respondentes que não informaram o pavimento da unidade habitacional. Apesar disso, esses questionários foram considerados válidos, visto que todas as demais respostas foram preenchidas adequadamente e os dados faltantes não têm influência no desenvolvimento do modelo estocástico de comportamento do usuário.

A análise dos dados monitorados é uma forma de sintetizar informações sobre o comportamento do usuário de modo que possam ser integradas às simulações computacionais. Para a construção de um modelo de comportamento do usuário é necessária uma base de dados adequada e condizente com o objeto de estudo.

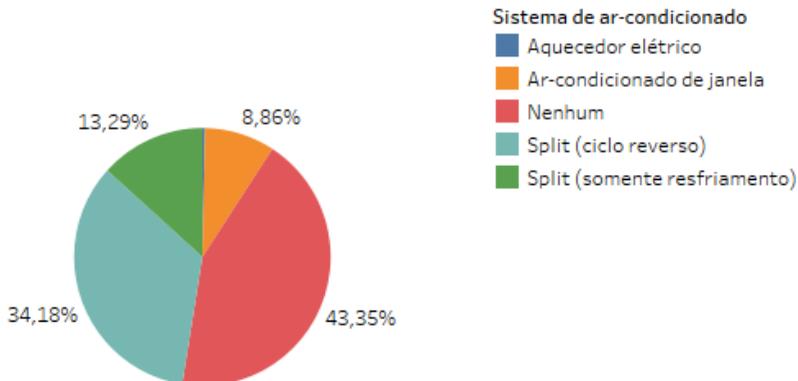
Os dados de monitoramento do comportamento do usuário podem ser utilizados de diversas formas para configurar as simulações computacionais. Desde o uso de dados brutos, conforme coletados ou em formato de perfis, até o desenvolvimento de modelos probabilísticos.

4.1.1 Operação do sistema de ar-condicionado

A análise dos dados obtidos por meio do monitoramento do comportamento do usuário apontou para a ausência de qualquer tipo de sistema de condicionamento artificial em 43% dos ambientes, considerando todas as salas e os dormitórios. O equipamento com maior presença nas edificações residenciais multifamiliares é do tipo split de ciclo reverso (para aquecimento e resfriamento), existente em 34% dos ambientes. Não foram encontrados casos com equipamentos do tipo split somente para aquecimento. Pondera-se que o questionário foi elaborado à exemplo do apresentado em IEA-EBC (2019) e, portanto, manteve a opção de equipamento do tipo split somente para aquecimento, sendo esse encontrado em edificações em climas frios. A Figura 4 apresenta o percentual de cada sistema de ar-condicionado encontrado nos ambientes monitorados.

A análise dos dados obtidos por meio do monitoramento do comportamento do usuário apontou para a ausência de qualquer tipo de sistema de condicionamento artificial em 43% dos ambientes, considerando todas as salas e os dormitórios. O equipamento com maior presença nas edificações residenciais multifamiliares é do tipo *split* de ciclo reverso (para aquecimento e resfriamento), existente em 34% dos ambientes. Não foram encontrados casos com equipamentos do tipo *split* somente para aquecimento. Pondera-se que o questionário foi elaborado à exemplo do apresentado em IEA-EBC (2019) e, portanto, manteve a opção de equipamento do tipo *split* somente para aquecimento, sendo esse encontrado em edificações em climas frios. A Figura 4 apresenta o percentual de cada sistema de ar-condicionado encontrado nos ambientes monitorados.

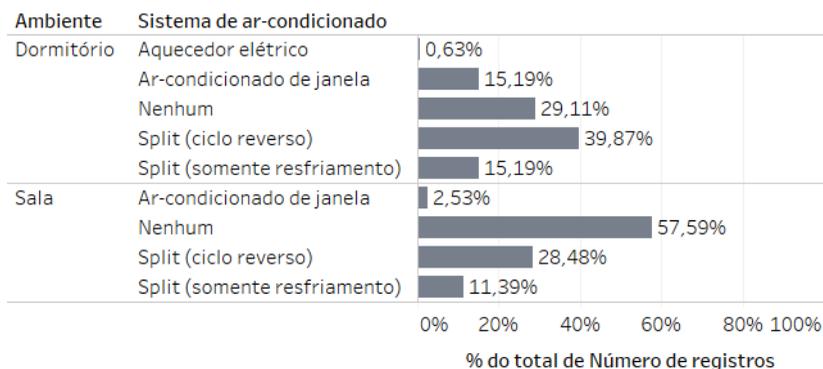
Figura 4. Sistemas de ar-condicionado existentes nos ambientes (salas e dormitórios).



A ausência de equipamento de ar-condicionado é maior nas salas em comparação com os dormitórios, conforme pode ser verificado na Figura 5. Das salas que possuem algum tipo de sistema de ar-condicionado, este é caracterizado por equipamento do tipo *split* de ciclo reverso (67%), *split* somente para resfriamento (27%) e ar-condicionado de janela (6%). A grande maioria dos dormitórios (71%) possui algum tipo de sistema de condicionamento artificial. A exemplo do observado para as salas, os equipamentos do tipo *split* (de ciclo reverso, seguido do tipo somente resfriamento) possuem maior presença nos dormitórios. Apenas um respondente assinalou a presença de aquecedor elétrico no dormitório.

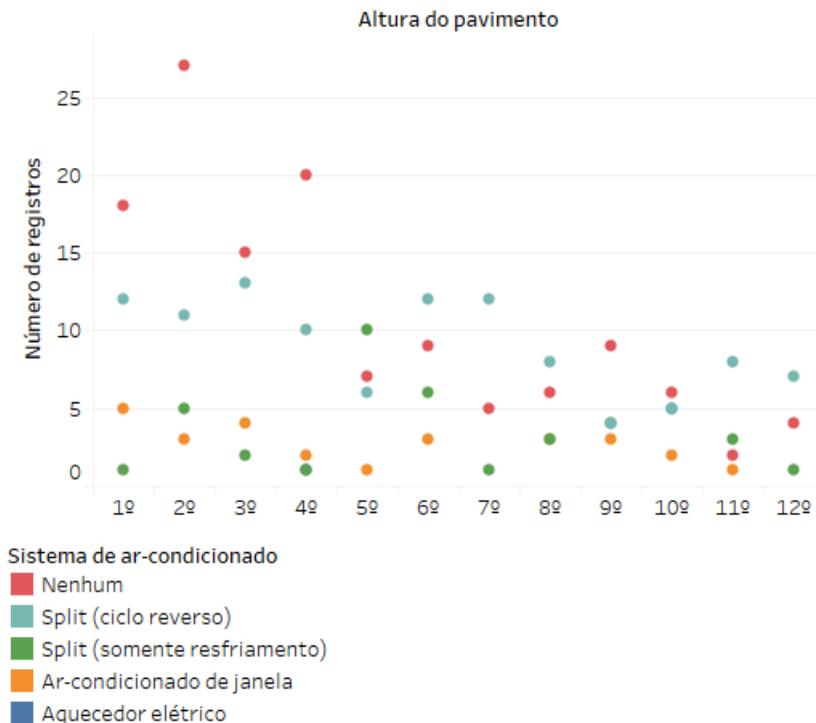
Os resultados da distribuição de sistemas de ar-condicionado em edificações residenciais multifamiliares corroboram com estudos que apontam o aumento da presença desse equipamento nas edificações. De acordo com dados de 2005 (ABRAVA, 2018), 13% dos domicílios (multifamiliares e unifamiliares) de Florianópolis contava com sistema de ar-condicionado. Em termos nacionais, essa distribuição era de 9% nos domicílios urbanos. Os resultados do monitoramento mostraram que 57% dos ambientes de longa permanência em edificações residenciais multifamiliares contam com algum sistema de ar-condicionado. Considerando somente o ano de 2018, o setor residencial foi associado a potencial de crescimento entre 7% e 8% de Toneladas de Refrigeração. Ao analisar o potencial especificamente para o equipamento do tipo *split*, foram apontados percentuais de 10% a 12% de crescimento (ABRAVA, 2018).

Figura 5. Distribuição dos sistemas de ar-condicionado, por ambiente.



A maior parte dos ambientes que não possuem equipamento de ar-condicionado está localizada em unidades habitacionais com até cinco pavimentos (68%). A distribuição dos sistemas de ar-condicionado de acordo com a altura do pavimento da unidade habitacional é apresentada na Figura 6. Os equipamentos do tipo *split* aparecem distribuídos equilibradamente em todos os pavimentos, tendo uma presença levemente maior nas unidades acima de cinco pavimentos (52% para *split* de ciclo reverso e 55% para *split* somente para resfriamento). A presença de sistemas de ar-condicionado de janela distribui-se em todos os pavimentos, com 56% em unidades de até cinco pavimentos.

Figura 6. Distribuição dos sistemas de ar-condicionado nos ambientes de longa permanência, por pavimento.

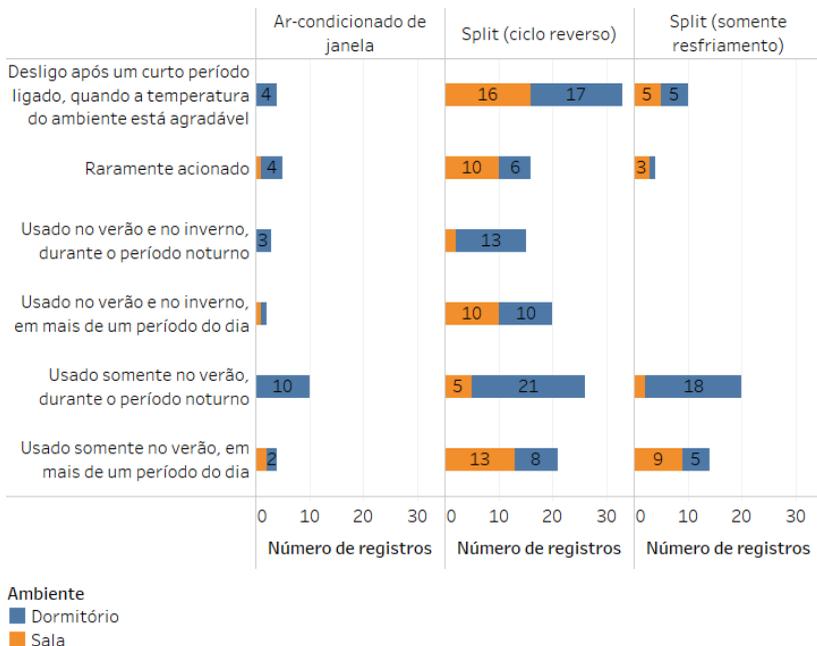


Conforme pode ser observado, não foram encontradas unidades habitacionais térreas. Contudo, o questionário não permitiu a identificação de unidades habitacionais de cobertura. As características de contato com o exterior verificadas em unidades habitacionais térreas e de cobertura têm influência sobre as condições dos seus ambientes internos.

As questões sobre o modo de operação do sistema de ar-condicionado permitiram a seleção de múltiplas alternativas para melhor descrever o comportamento do usuário referente a esse elemento da edificação. Assim, o somatório das alternativas assinaladas ultrapassa o número de questionários válidos. Nesse caso, os resultados não serão apresentados em percentagem e sim, em valor absoluto. A Figura 7 apresenta o modo de operação dos sistemas de ar-condicionado, para os

diferentes equipamentos e ambientes. Não foram incluídas as informações referentes à operação do aquecedor elétrico, frente a presença pouco expressiva desse equipamento na amostra (inferior a 1% dos casos).

Figura 7. Operação dos sistemas de ar-condicionado, por tipo e ambiente.



Com o uso das alternativas de respostas disponíveis no questionário, buscou-se identificar com que tipo de variável explicativa a operação do ar-condicionado está relacionada. Dois grupos de variáveis explicativas foram considerados: temporais e condições do ambiente interno. O comportamento do usuário de desligar o sistema de ar-condicionado após curtos períodos, assim como raramente acioná-lo apontam para um cenário de uso direcionado a situações de desconforto térmico. Em contrapartida, o acionamento do sistema presente nos dormitórios durante o período noturno, quando há a expectativa de ocupação do ambiente, indica a influência de variáveis temporais, ou seja, da rotina do usuário. O uso do ar-condicionado durante o período noturno, somente no verão, foi o comportamento mais frequente observado para

todos os tipos de equipamentos, para os dormitórios (com 10 registros para o ar-condicionado de janela, 21 para o *split* de ciclo reverso e, 18 para o *split* somente para resfriamento). Conforme esperado, os modos mais frequentes de operação do sistema de ar-condicionado no dormitório consistem no seu acionamento concomitantemente à ocupação desse ambiente.

A combinação de características do clima local e costumes da população contribuem para que os sistemas de ar-condicionado sejam mais utilizados durante o verão, independentemente do tipo de equipamento.

Os modos de operação do sistema de ar-condicionado demonstram variação entre os perfis de usuários. Os usuários que raramente acionam o sistema de ar-condicionado ou que o mantém acionado ao longo de todo o período noturno podem ser classificados como usuários pouco ativos. Em comparação, usuários que desligam o sistema quando a temperatura está agradável ou que utilizam o ar-condicionado em mais de um período do dia têm relação mais ativa frente à operação do sistema. A relação do usuário com o sistema de ar-condicionado possui relação direta com o consumo de energia da edificação. E, como verificado por Feng; Yan; Wang (2015), diferentes modos de operação do sistema de ar-condicionado podem resultar em variação significativamente desse consumo energético. Em base anual, o consumo energético por conta da operação do sistema de ar-condicionado também depende do tipo de equipamento presente, visto que equipamentos de ciclo reverso são acionados em ambas as estações fria e quente.

Os modos de operação do sistema de ar-condicionado verificados com maior frequência na base de dados apresentam relação com as variáveis temporais, dadas pelo período do dia e do ano. À exceção, verifica-se que a operação do sistema *split* de ciclo reverso na sala ocorre principalmente em função da temperatura. Resultado similar foi encontrado no estudo conduzido por Feng; Yan; Wang (2015), no qual o padrão de operação do sistema de ar-condicionado mais frequente para a sala relacionou o acionamento à sensação de calor por parte do usuário.

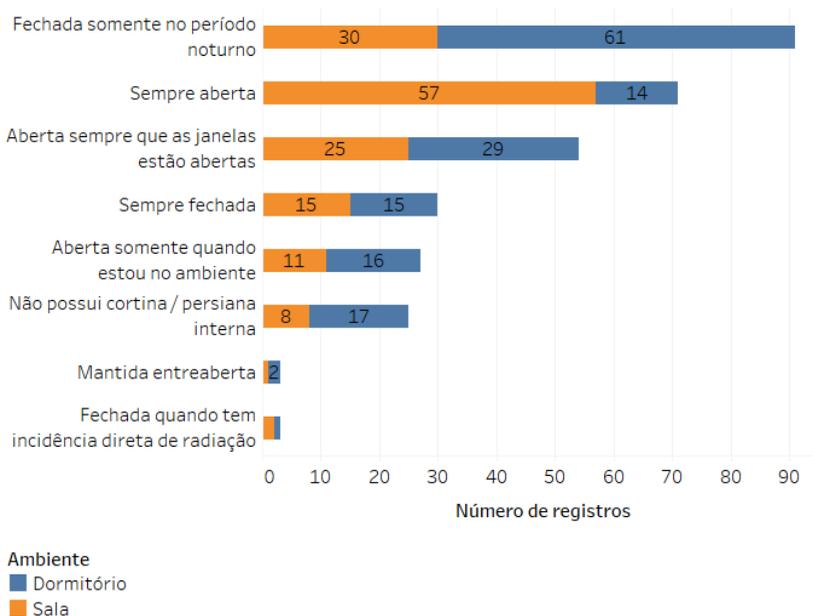
4.1.2 Operação de persianas e janelas

As questões sobre a operação de persianas internas e janelas apresentaram alternativas quanto a frequência e o período em que esses elementos da edificação são operados. Assim como os demais comportamentos do usuário analisados neste trabalho, a operação de janelas e persianas é dada em sistema binário. Nesse sentido, a operação consiste na abertura ou fechamento das janelas e/ou persianas, na

totalidade. Não foram consideradas aberturas parciais nas etapas de desenvolvimento e aplicação do modelo de comportamento do usuário.

Além das seis alternativas apresentadas, o questionário permitia que o usuário descrevesse outro tipo de comportamento relacionado à janela e à persiana. A operação de persiana resultou em 20 respostas distintas, das quais 12 obtiveram apenas um registro. As respostas que receberam mais de um registro são apresentadas na Figura 8, identificadas por ambiente.

Figura 8. Operação de persianas internas, por ambiente.



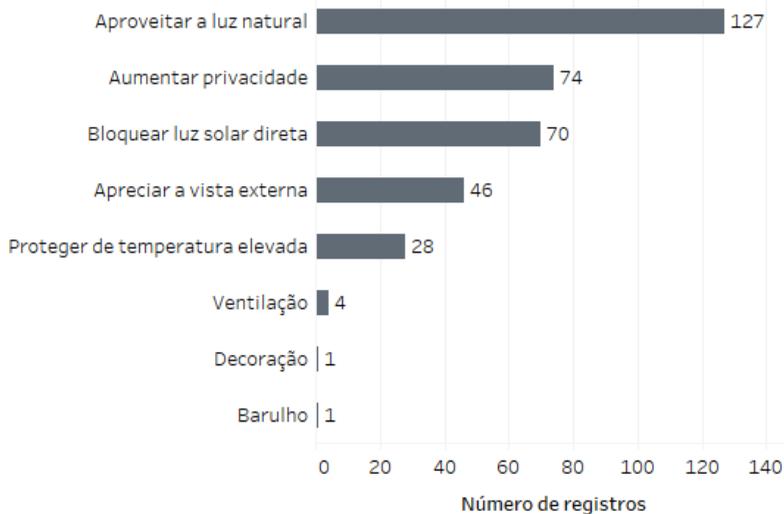
Em 25 casos, a unidade habitacional não possui cortinas ou persianas internas. Nos dormitórios, a operação mais frequente consiste em manter as persianas fechadas durante o período noturno. As persianas fechadas durante o período noturno buscam manter condições agradáveis de conforto visual para o descanso, além de assegurar a privacidade dos usuários. No que concerne edificações residenciais multifamiliares, a privacidade foi apontada como uma preocupação de muitos respondentes, tendo em vista a proximidade entre blocos do mesmo condomínio ou até mesmo de condomínios vizinhos.

As alternativas de operação “Mantida entreaberta” e “Fechada quando tem incidência direta de radiação” foram descritas por respondentes dentro da alternativa “Outro”, não fazendo parte das alternativas apresentadas no questionário. Pondera-se que se essas alternativas tivessem sido descritas nas alternativas de respostas apresentadas no questionário, poderiam ter recebido maior número de registros.

Observa-se grande número de respostas apontando que a cortina ou persiana interna nas salas é mantida sempre aberta. Esse comportamento do usuário pode revelar que para esse ambiente, a cortina/persiana consiste mais em um elemento de decoração, desassociado do conforto térmico e visual. Em contrapartida, o comportamento de abrir a cortina/persiana sempre que as janelas estão abertas demonstra a intenção de maximizar uma ação em busca de conforto, e.g. potencializando a renovação de ar.

A Figura 9 mostra os motivos que conduzem os usuários a operarem (abrirem ou fecharem) a persiana interna ou cortina, organizados de modo decrescente quanto ao número de registros obtidos para cada alternativa.

Figura 9. Motivos para a operação da cortina ou persiana interna.



A busca por conforto visual aparece como a principal motivação para a interação com persianas internas ou cortinas, seja no aproveitamento da luz natural ou no bloqueio de luz solar direta.

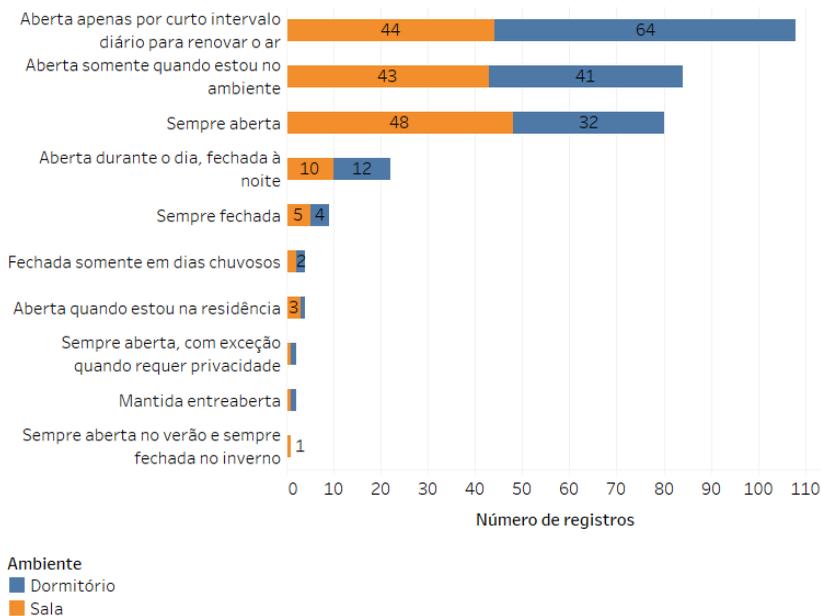
Os resultados verificados para os modos de operação de persianas e os motivos para operar esse elemento da edificação mostraram convergência, no sentido de que ambos os resultados demonstram usuários interagindo em prol de aumentar a disponibilidade de luz natural. Nos modos de operação mais frequentes, as persianas ficam abertas durante o dia (podendo ou não ser fechadas à noite). Desse modo, os usuários conseguem maximizar o aproveitamento da luz natural. Resultados de estudos anteriores apontaram que a combinação do modo de operação de persianas e do tipo de controle do sistema de iluminação pode gerar até 60% de redução no consumo para iluminação (VAN DEN WYMELENBERG, 2012). Pondera-se que esse montante de economia de energia depende também do período do dia em que o ambiente é ocupado. Para edificações residenciais multifamiliares, com ocupação predominantemente noturna, o modo de operação das persianas pode oferecer maior benefício para o desempenho térmico que lumínico. Ao operar as persianas para bloquear a luz solar direta e/ou proteger de temperatura elevada, a interação do usuário pode contribuir para reduzir o ganho de calor ao longo do dia. Contudo, o comportamento de manter as persianas sempre fechadas representou apenas 33% das respostas obtidas para a operação mais frequente.

A privacidade foi apontada com o segundo motivo mais frequente para operar a persiana. Esse resultado pode ser descrito como esperado para edificações residenciais multifamiliares. As características da implantação dessas edificações em contextos urbanos bastante edificados fazem com que o comportamento do usuário seja influenciado pela proximidade com outras edificações (do mesmo condomínio ou até mesmo vizinhas).

A operação de persianas com intuito de aumentar a privacidade foi significativamente superior à motivação relacionada à vista externa. Novamente, essa relação aponta para a influência dos afastamentos entre edificações no comportamento dos usuários somados à altura da unidade habitacional e, traz consequências não somente para a disponibilidade de luz, como para a ventilação natural.

As repostas obtidas para a operação de janelas mostraram perfis semelhantes para as salas e dormitórios, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10. Operação de janelas, por ambiente.



Dentre as alternativas apresentadas no questionário, três delas receberam o maior número de respostas: “Aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar” (108 registros), “Aberta somente quando estou no ambiente” (84 registros) e “Sempre aberta” (80 registros). Destaque para a resposta “Aberta durante o dia, fechada à noite” que foi preenchida por 22 respondentes dentro da alternativa “Outro”.

O comportamento do usuário referente à operação da janela no dormitório demonstra-se mais restritivo em comparação com a operação de persiana/cortina. De acordo com os resultados obtidos, a abertura da janela ocorre quando há um controle próximo por parte do usuário, seja pela sua presença no ambiente, seja determinando o período dessa abertura. Associa-se o modo mais restritivo de operação verificado para a janela ao impacto nas condições internas do ambiente que tal elemento pode acarretar. Assim como verificado para as persianas, a operação de janelas pode facilitar ou restringir as trocas térmicas com o ambiente externo. Uma diferença fundamental entre os dois elementos refere-se à associação da operação da janela a estratégias de ventilação. Como exemplo, demonstra-se que o modo de operação de janela no dormitório

que considera sua abertura somente quando há ocupação consiste, em termos gerais, na estratégia de ventilação noturna.

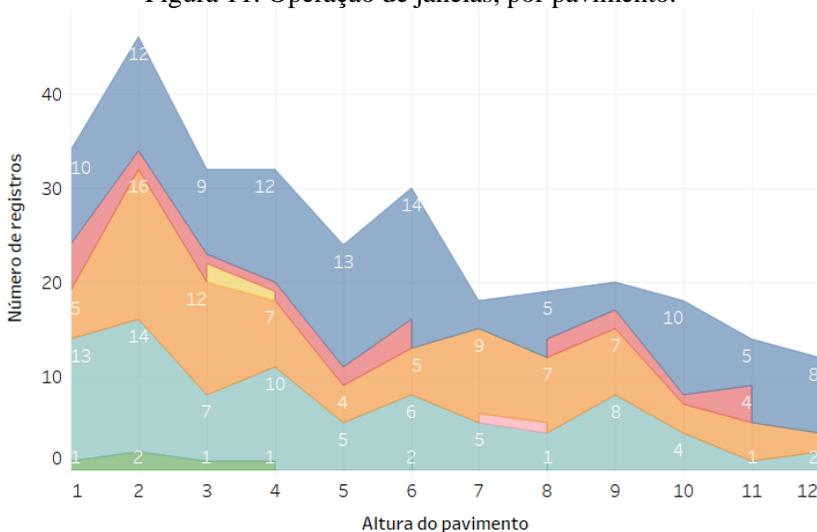
Para a sala, a operação de janela mais frequente mantém-na sempre aberta. Pondera-se que essa abertura constante da janela da sala talvez não corresponda à abertura total da janela. Ao tratar o comportamento do usuário em estado binário, não foram monitoradas as aberturas parciais de janelas e persianas. Contudo, indica-se que o modo de operação parcial possa ser mais frequente que a abertura total. Por meio da abertura parcial da janela, o usuário pode buscar garantir apenas a renovação do ar constante, ao invés de maximizar as trocas térmicas com o ambiente externo. Tais considerações são feitas baseadas no fato de que o modo de operação de janelas somente para renovação do ar obteve o segundo maior número de respostas, para a sala.

Assim como apontado por quatro respondentes, a abertura de janelas é restringida também em função das condições atmosféricas, i.e., em dias de chuva são mantidas fechadas. Nesse sentido, a abertura parcial da janela também seria uma alternativa para manter renovação do ar e ao mesmo tempo bloquear, ainda que parcialmente, a entrada de água da chuva no ambiente.

A comum ausência de beirais e *brises* sobre as aberturas em edificações residenciais multifamiliares pode ter contribuído para a apresentação de modos de operação de janelas restritivos. Os elementos de sombreamento, mais frequentes em edificações residenciais unifamiliares, quando projetados adequadamente criam sombra sobre as áreas envidraçadas da fachada, protegendo-as de radiação solar direta durante a estação quente, além de fornecer alguma proteção contra precipitação. Em edificações residenciais multifamiliares, as sacadas, presentes principalmente nas salas, podem oferecer sombreamento parcial da abertura no pavimento inferior. A hipótese de presença de sacadas nas salas pode representar o motivo pelo qual o modo de operação de janelas mais frequente manteve-a sempre aberta. A projeção da sacada do pavimento acima garante certa proteção para a abertura, quanto à radiação solar direta e precipitação.

A relação entre os modos de operação de janelas e o pavimento das unidades habitacionais monitoradas é apresentada na Figura 11. Os resultados não foram normalizados, portanto verifica-se que foram obtidas mais respostas para unidades habitacionais no segundo pavimento. A distribuição do número de respostas para cada pavimento ocorreu aleatoriamente a partir da aplicação do questionário.

Figura 11. Operação de janelas, por pavimento.



Operação da janela

- Aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar
- Aberta durante o dia, fechada à noite
- Aberta quando estou na residência
- Aberta somente quando estou no ambiente
- Mantida entreaberta
- Sempre aberta
- Sempre fechada

A operação das janelas apenas para renovação do ar é verificada com maior frequência para as unidades até o sexto pavimento. Todavia, esse modo de operação de janela foi descrito em unidades habitacionais de todos os pavimentos, inclusive com frequências altas para o 10º e 12º pavimentos.

O modo de operação de janelas vinculado à ocupação do ambiente mostrou ser independente do pavimento, apresentando frequência similar de respostas obtidas para até o nono pavimento. Pondera-se que a partir do nono pavimento há redução da quantidade total de respostas obtidas. A operação de janela quando associada à ocupação do ambiente, intrinsecamente, associa-se também à rotina do usuário. Assim, esse modo de operação de janela é explicado pela variável temporal, o que justifica a ausência de dependência do pavimento ou de outra característica da unidade habitacional. A relação entre operação de aberturas e a rotina dos usuários foi identificada também por Jeong; Jeong; Park (2016). No estudo citado, os autores verificaram que a

abertura e fechamento das janelas ocorriam em determinados horários do dia, em associação com outras atividades desempenhadas pelos usuários.

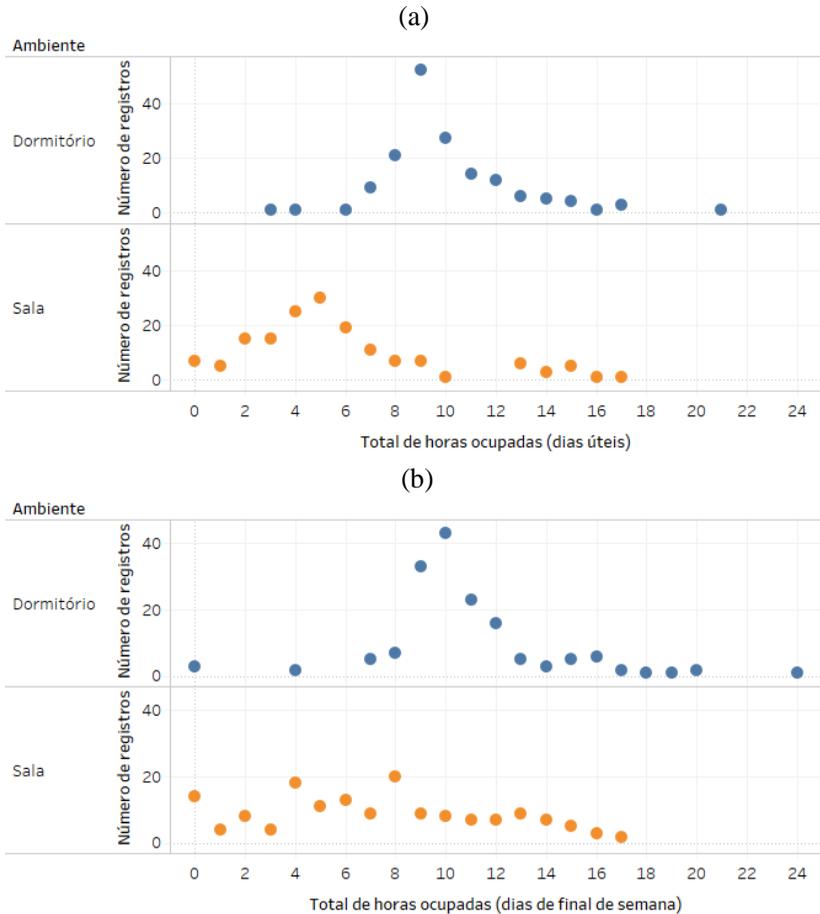
Observa-se que a operação de janelas as mantendo sempre abertas ocorre com maior frequência em unidades habitacionais até o quarto pavimento. Adicionalmente, as janelas mantidas sempre fechadas ocorrem apenas para unidades até o quarto pavimento, porém com baixa frequência de respostas. A manutenção de janelas sempre abertas, considerando sua abertura total, em unidades habitacionais em pavimentos mais altos pode causar desconforto térmico em função da velocidade do ar.

O método selecionado para o monitoramento do comportamento do usuário delimita o conjunto de variáveis explicativas com as quais serão analisados os modos de operação de janelas e persianas. Neste trabalho, o monitoramento conduzido por meio de questionário permitiu que as operações desses elementos fossem vinculadas a variáveis temporais e a outras ações do usuário. No entanto, em estudos com monitoramento adaptativo do comportamento do usuário, nos quais há o uso de equipamentos, foram utilizadas condições ambientais como variáveis explicativas para analisar os modos de operação de janelas e persianas. Por exemplo, no estudo conduzido por Andersen et al. (2013), a abertura e o fechamento de janelas foram determinados pelas variáveis explicativas de concentração interna de CO₂ e temperatura externa, respectivamente.

4.1.3 Ocupação

O monitoramento do comportamento do usuário por meio da aplicação de questionário resultou na obtenção de 158 perfis distintos de ocupação dos ambientes de longa permanência. Esses perfis são resultado do preenchimento por parte do respondente dos horários em que costuma ocupar a sala e o dormitório, diferenciando dias úteis e dias de final de semana. Todos os dados referentes à ocupação constituem a base para o desenvolvimento do modelo estocástico de ocupação. Contudo, uma análise dessa base de dados permitiu avaliar alguns aspectos gerais da ocupação. Para essa análise, foram observados os dados referentes aos totais de horas ocupadas por dia e por períodos do dia. A Figura 12 mostra os totais diários de horas com ocupação na sala e no dormitório, com distinção dos dias úteis e dias de final de semana.

Figura 12. Ocupação dos ambientes para (a) dias úteis e (b) dias de final de semana.



Os totais de horas ocupadas nos ambientes apontaram para a existência de perfis bastante distintos dentro da base de dados monitorados. O comportamento do usuário quanto à ocupação das salas e dormitórios varia entre a total ausência (durante os dias de final de semana) até mais de vinte horas de ocupação no mesmo ambiente. Cenários extremos de ocupação também são observados para os dias úteis, com a existência de usuários que permanecem apenas poucas horas (de três a quatro horas) no dormitório, em contraste com até 21 horas de ocupação.

Observa-se que o tempo de ocupação dos dormitórios tende a uma distribuição normal, com as maiores frequências de respostas concentrando-se entre nove horas (52 registros) e dez horas diárias (43 registros), respectivamente, para os dias úteis e dias de final de semana. O tempo de ocupação nas salas, para os dias úteis, apresenta um pico de frequência em torno de cinco horas (30 registros) diárias. Contudo, para os dias de final de semana, a ocupação das salas ocorre sem um demarcado pico de frequência. Desse modo, as maiores frequências de respostas foram obtidas para oito horas (com 20 registros) e quatro horas (com 18 registros) diárias de ocupação.

Os resultados obtidos para os totais de horas de ocupação no dormitório corroboram com a utilização desse ambiente para atividade de descanso, visto que o maior número de respondentes descreveu utilizá-lo entre nove e dez horas diárias. Os perfis com ocupação do dormitório acima de 12 horas diárias indicam a utilização desse ambiente para outras atividades.

Em contraste com a utilização do dormitório para outras atividades além do descanso, a potência instalada de equipamentos para esse ambiente indicada pelo RTQ-R é nula, o que aponta para uma desatualização entre o uso real da edificação e o modo como essa é configurada em simulações de desempenho térmico e energético.

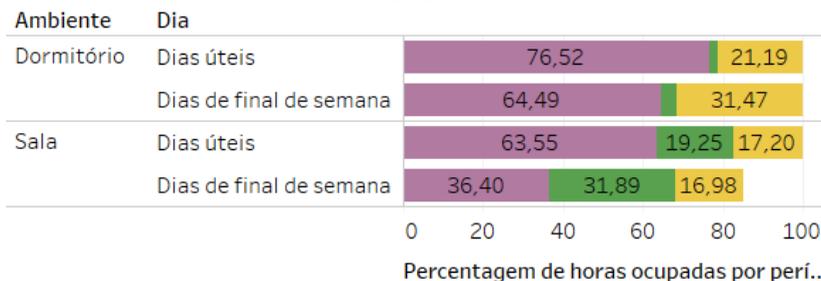
No contexto das atividades desprendidas nos ambientes de longa permanência, a descrição da ocupação em mais de dois estados proporcionaria maior precisão referente à variação de taxa metabólica dos usuários. Por exemplo, no estudo de Widén; Nilsson; Wäckelgård (2009), foram descritos três estados de ocupação – ausente, presente e ativo, presente e inativo. Em contrapartida, a descrição da ocupação em mais estados demanda monitoramento com uso de equipamentos. A utilização da sala para múltiplas atividades contribuiu para variação ainda maior entre os perfis de ocupação.

Os resultados da distribuição dos totais de horas de ocupação demonstraram que o comportamento do usuário em edificações residenciais multifamiliares pode assumir uma ampla gama de perfis distintos. Em vista da grande variação entre os perfis de ocupação monitorados, fica evidente que o uso de rotinas fixas para sintetizar um único perfil de ocupação para todos os usuários é impreciso. As rotinas fixas representam um comportamento médio, todavia, os resultados do monitoramento mostram que apesar de verificados perfis com maior frequência de respostas, a ocupação dos ambientes de longa permanência ocorre de modo variado para um conjunto de usuários. Os resultados obtidos para os totais de horas de ocupação na sala em dias de finais de

semana, ressaltam a imprecisão de representar o comportamento com uso um único perfil representativo, ao não apresentar predominância significativa dentre os perfis de ocupação.

A Figura 13 mostra o tempo de ocupação (em horas) ao longo dos períodos do dia, para as salas e dormitórios. Foram determinados três períodos: manhã (das 6h às 11h59), tarde (das 12h às 17h59) e noite (das 18h às 5h59).

Figura 13. Distribuição das horas ocupadas nos ambientes, por período do dia.



Período

- Manhã (6h-11h59)
- Tarde (12h-17h59)
- Noite (18h-5h59)

A ocupação dos dormitórios ocorre predominantemente à noite, tanto para dias úteis (76%) quanto para dias de final de semana (64%). Além da ocupação noturna, os dormitórios são ocupados também no período matutino, em maior percentagem nos dias de final de semana (31%). Essa distribuição da ocupação ao longo dos períodos do dia converge com o resultado esperado, vinculado à atividade de descanso. Os resultados obtidos inclusive reproduziram um período de descanso maior para os dias de final de semana, ao estender a ocupação matutina dos dormitórios.

A ocupação das salas para os dias úteis mantém-se predominantemente noturna (64%), a exemplo do verificado para os dormitórios. O restante das horas de ocupação da sala para os dias úteis ocorre equilibradamente entre os períodos matutino (17%) e vespertino (19%). Para os dias de final de semana, a ocupação desse ambiente nos dias de final de semana ocorre principalmente durante os períodos noturno (36%) e vespertino (32%). Os resultados do monitoramento

mostraram que para os dias de final de semana há um percentual de usuários (15%) que não ocupa a sala em nenhum período do dia. Por conta disso, a distribuição da ocupação para os três períodos do dia, conforme apresentada na Figura 13, totaliza apenas 85%. Novamente, os resultados apresentados para a ocupação, principalmente na sala, evidenciam que o uso de um único perfil de ocupação é insuficiente para descrever o comportamento do usuário em edificações residenciais multifamiliares.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO ESTOCÁSTICO DE OCUPAÇÃO

Nesta subseção são apresentados os resultados alcançados por meio do modelo estocástico de ocupação. Os resultados obtidos durante o processo estocástico de cadeias de Markov de primeira ordem também são apresentados. Diferentes perfis de ocupação foram desenvolvidos utilizando os dados de monitoramento de forma direta e indireta. Os perfis desenvolvidos neste trabalho que apresentam maior complexidade e melhor reproduzem o comportamento real do usuário consistem em perfis estocásticos de ocupação, os quais são resultantes da simulação do modelo estocástico desenvolvido.

4.2.1 Base de dados do comportamento do usuário

O modelo estocástico de ocupação foi desenvolvido utilizando a base de dados de comportamento do usuário, em específico, as informações sobre a ocupação dos ambientes de longa permanência. A base de dados foi organizada de forma a dispor as respostas obtidas por cada respondente em perfis diários de ocupação. Esses perfis indicaram por meio da convenção “0” e “1”, respectivamente, a ausência e a presença de usuário para determinado horário. A Figura 14 apresenta um recorte com 15 exemplos de perfis diários monitorados de ocupação no dormitório em dias úteis. O Apêndice B apresenta todos os dados do monitoramento da ocupação na sala e no dormitório.

Figura 14. Exemplos de perfis de ocupação monitorados, para o dormitório e em dias úteis.

Usuários	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Usuário 1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 6	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 8	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 10	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 11	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 12	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 13	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 14	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 15	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

O modelo estocástico de ocupação fundamenta-se em prever o estado de ocupação no passo de tempo futuro. Assim, a base de dados de comportamento do usuário foi utilizada para obter a probabilidade de presença no passo de tempo futuro. Ao tratar-se de um estado binário, a probabilidade de presença é complementar a probabilidade de ausência de usuário. Desse modo, o estado de ocupação é determinado para cada passo de tempo futuro. O modelo estocástico, bem como a base de dados de ocupação, possui base horária. Cada passo de tempo compreende uma hora e, os perfis desenvolvidos totalizam as 24 horas de um dia.

4.2.2 Estado inicial de ocupação

O estado inicial de ocupação foi obtido a partir dos percentuais de usuários ausentes e presentes no passo de tempo inicial (por convenção, das 0h às 0h59). Ao utilizar a base de dados para obter essa informação, em oposição a definir arbitrariamente o estado inicial de ocupação, o modelo manteve um vínculo ainda mais estreito com dados monitorados.

O vetor de probabilidade do estado inicial de ocupação foi obtido separadamente para as salas e dormitórios e, para dias úteis e dias de final de semana. Os vetores representam os percentuais de usuários ausentes e presentes, conforme apresentados pelas Equações 11 a 14.

$$P0_{sala,DU} = \begin{bmatrix} 0,96 \\ 0,04 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$P0_{sala,FDS} = \begin{bmatrix} 0,94 \\ 0,06 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$P0_{dorm,DU} = \begin{bmatrix} 0,05 \\ 0,95 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$P0_{dorm,FDS} = \begin{bmatrix} 0,10 \\ 0,90 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Onde:

$PO_{\text{sala,DU}}$ é a probabilidade do estado inicial para a sala em dias úteis;

$PO_{\text{sala,FDS}}$ é a probabilidade do estado inicial para a sala em dias de final de semana;

$PO_{\text{dorm,DU}}$ é a probabilidade do estado inicial para o dormitório em dias úteis;

$PO_{\text{dorm,FDS}}$ é a probabilidade do estado inicial para o dormitório em dias de final de semana.

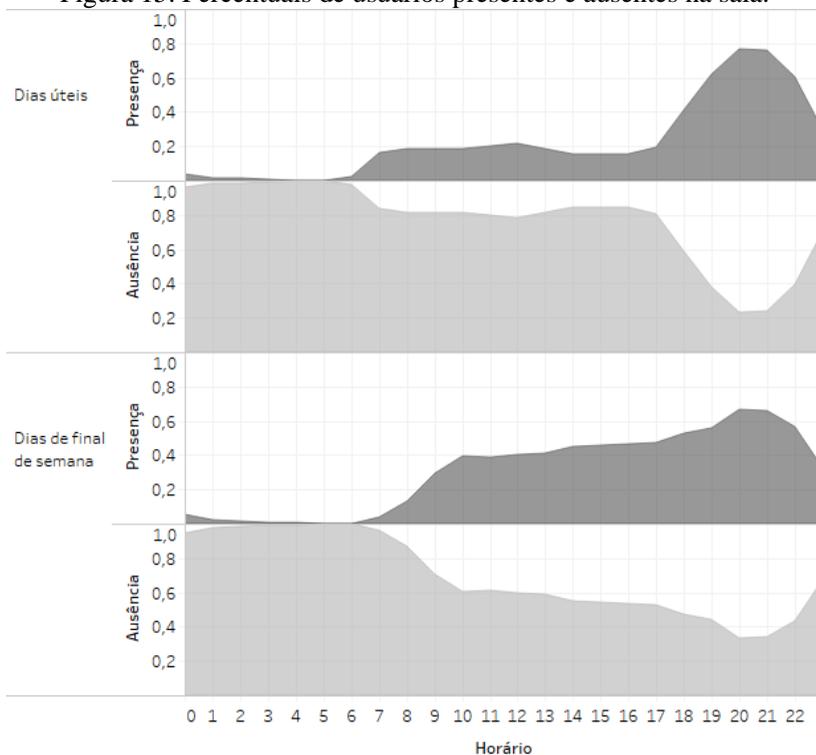
A comparação entre os vetores de probabilidade do estado inicial de ocupação em dias úteis e dias de final de semana aponta para a diferença entre o comportamento reportado pelos usuários em função do dia da semana. Essa diferença é mais perceptível para os vetores referentes ao dormitório. O estado inicial de ocupação foi marcado pela predominância de usuários ausentes na sala e presentes no dormitório, considerado o resultado esperado para o período.

Todos os vetores apresentados foram obtidos com a finalidade de caracterizar o estado de ocupação no passo de tempo inicial. Ao definir o estado inicial de ocupação com base nos dados de monitoramento, dispensou-se a necessidade de simular o modelo estocástico desenvolvido para alguns passos de tempo de aquecimento. Para o modelo estocástico desenvolvido por Wilke (2013) foi utilizado período de aquecimento de três dias, após o qual os resultados mostram convergência.

4.2.3 Percentuais de usuários presentes

Os percentuais de usuários ausentes e presentes para todos os demais horários foram obtidos, apesar de tais resultados não serem considerados no desenvolvimento do modelo estocástico de ocupação. Os percentuais são apresentados em formato diário apontando usuários presentes e ausentes, conforme mostra a Figura 15, para a sala.

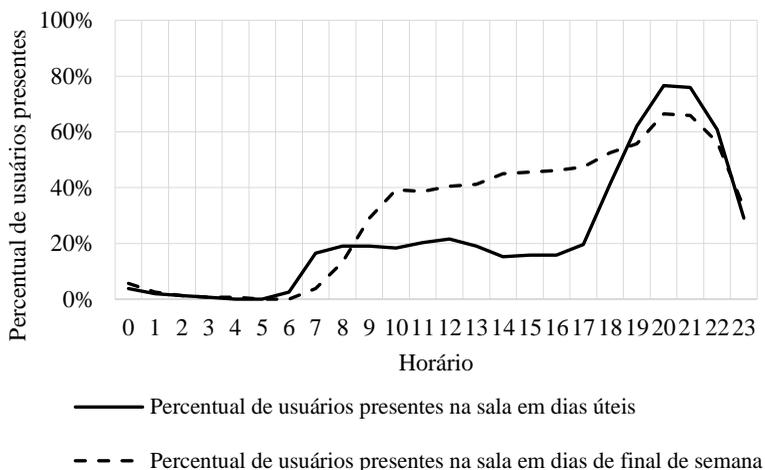
Figura 15. Percentuais de usuários presentes e ausentes na sala.



Os resultados mostram que a sala permanece sem ocupação na maior parte do dia, principalmente nos dias úteis. A ocupação da sala ocorre predominantemente à noite, com picos de presença de usuários às 20h. Mesmo durante esse pico, o percentual máximo de usuários presentes na sala é de 77% em dias úteis e 66% em dias de final de semana. Durante os períodos matutino e vespertino, nota-se que a ocupação da sala tem aderência superior em dias de final de semana, em comparação com dias úteis. Apesar disso, o percentual de usuários presentes durante o dia não ultrapassa os 50%. Por tratar-se de estado binário de ocupação, os percentuais de usuários ausentes são complementares aos de usuários presentes. A ausência de usuários na sala ocorre predominantemente entre 0h e 6h. Em dias úteis, a sala permaneceu com até 85% de usuários ausentes durante os períodos matutino e vespertino.

A Figura 16 apresenta apenas os percentuais de usuários presentes, a fim de permitir uma comparação mais direta entre a ocupação na sala em diferentes períodos da semana.

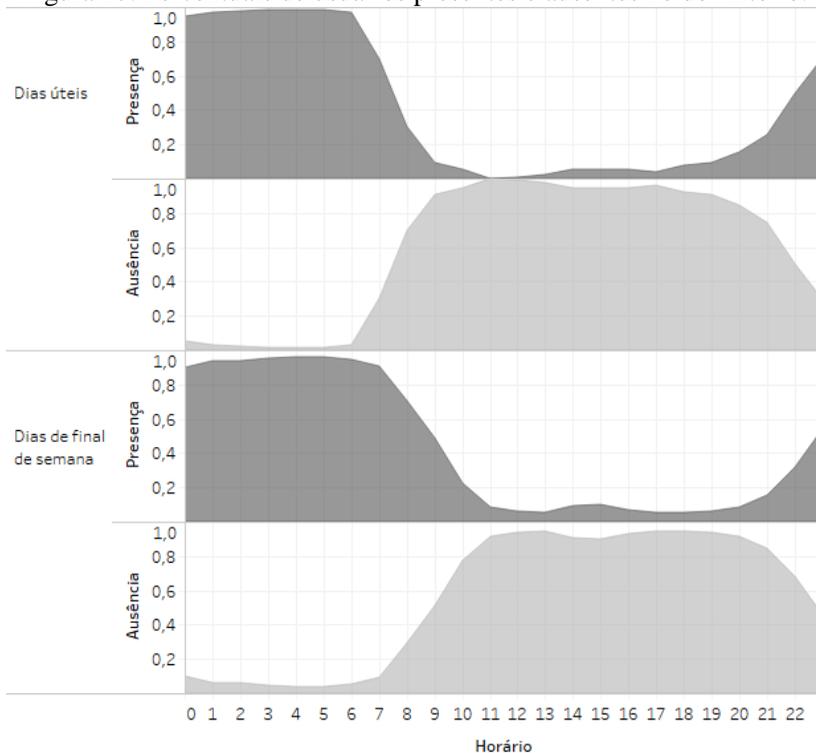
Figura 16. Percentuais de usuários presentes na sala.



Os resultados mostram que durante os períodos matutino e vespertino, a ocupação na sala em dias úteis ocorre com baixos percentuais (entre 15% e 22%) e uniformemente distribuídos. A ocupação na sala em dias de final de semana tem início mais tarde, porém com aderência de mais usuários (de 39% a 47% de usuários presentes). Em dias úteis, há uma variação acentuada de ocupação no início da noite, quando o baixo percentual de usuários presentes migra para o pico de presença às 20h. O percentual de usuários presentes aumenta de 20% para 77% entre 17h e 20h. Em dias de final de semana, tal transição ocorre gradativamente, à medida que o percentual de usuários presentes na sala aumenta a partir do período vespertino. Para o mesmo período, entre 17h e 20h, o percentual de usuários presentes passa de 47% para 66%.

Os percentuais de usuários presentes e ausentes no dormitório são apresentados na Figura 17.

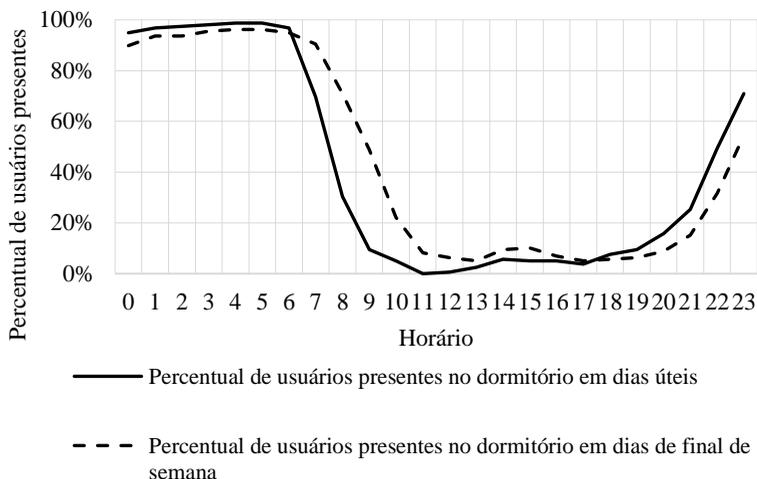
Figura 17. Percentuais de usuários presentes e ausentes no dormitório.



A ocupação do dormitório, fortemente associada à atividade de dormir, obteve os maiores percentuais de usuários presentes durante o período noturno. Duas transições são evidenciadas por meio dos percentuais de usuários ausentes e presentes. A primeira transição ocorre pela manhã quando o usuário deixa o dormitório e a segunda, à noite, quando retorna. Durante os períodos matutino e vespertino, predomina a ausência de usuários no dormitório. Os picos de ausência de usuários foram verificados entre 11h e 13h, em dias úteis. Em dias de final de semana, os maiores percentuais de ausência de usuários foram verificados em dois momentos, às 13h e entre 17h e 18h.

A comparação entre os percentuais de usuários presentes no dormitório em dias úteis e dias de final de semana é demonstrada na Figura 18.

Figura 18. Percentual de usuários presentes no dormitório.



Em oposição ao verificado na sala, a comparação dos percentuais de usuários presentes no dormitório em função do dia da semana mostrou perfis semelhantes. Os resultados evidenciaram apenas uma compensação de cerca de uma hora que ocorre para as duas transições de ocupação, em dias de final de semana.

Durante o período matutino, verifica-se uma transição entre os estados de ocupação. Em dias úteis, os altos percentuais de usuários presentes são rapidamente substituídos pela ausência dos mesmos. Observou-se redução de 66% dos usuários presentes entre 6h e 8h. Em dias de final de semana, essa transição inicia uma hora mais tarde e, ocorre de forma menos abrupta. Houve redução de 42% de usuários presentes entre 7h e 9h, em dias de final de semana. A segunda transição ocorre no início do período noturno e, apesar de apresentar um atraso de cerca de uma hora em dias de final de semana, a transição se dá em mesma proporção para todos os dias da semana.

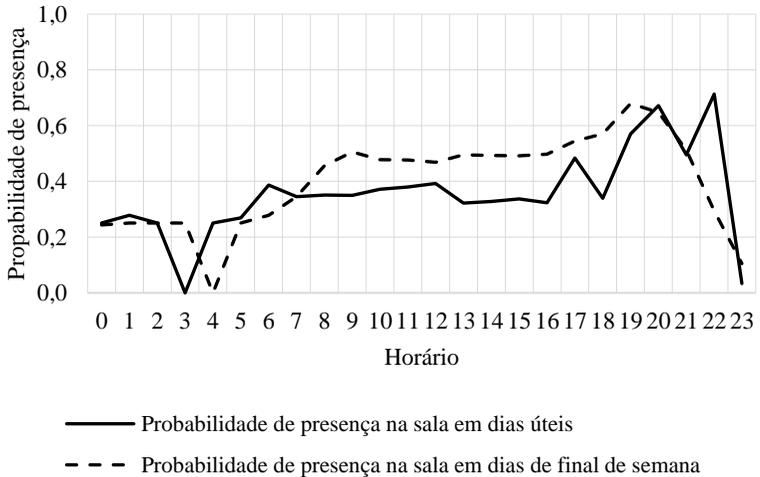
4.2.4 Probabilidade de presença no passo de tempo futuro

O desenvolvimento do modelo estocástico de ocupação utilizou todas as matrizes de probabilidade de transição para obter, como dado de saída, a probabilidade de presença no passo de tempo futuro. Esse dado de saída corresponde a um perfil diário, em escala de 0 a 1, o qual apresenta a probabilidade de o usuário estar presente para cada passo de tempo, ou seja, para cada hora do dia. Em vista da diferenciação de acordo

com ambiente e dia da semana, foram obtidos quatro perfis diários de ocupação.

Os perfis diários construídos com a probabilidade de presença na sala em dias úteis e dias de final de semana são apresentados na Figura 19.

Figura 19. Probabilidade de presença no passo de tempo futuro na sala.



Os perfis obtidos demonstram como o modelo estocástico de ocupação prediz o estado de ocupação para o passo de tempo futuro, até a conclusão das 24 horas diárias. As probabilidades de presença do usuário são resultantes da simulação do modelo desenvolvido e, mantém relação com os dados monitorados do comportamento do usuário. O modelo foi desenvolvido de modo a completar o ciclo de 24 horas, portanto a última probabilidade obtida diz respeito à transição de estado de ocupação entre 23h e 0h.

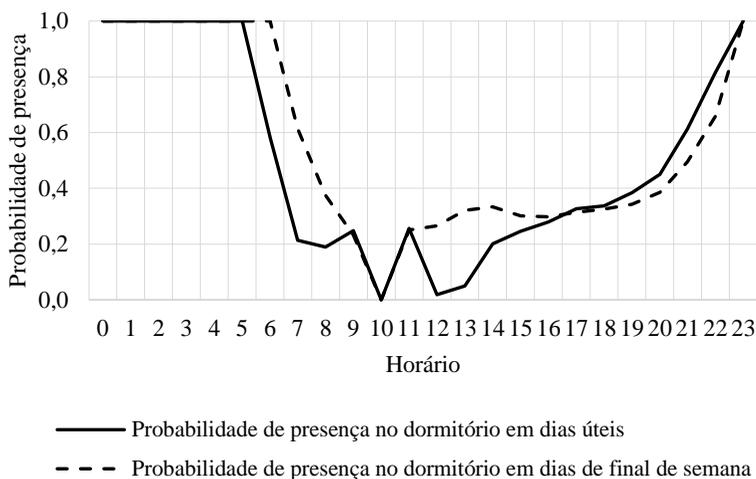
Os perfis obtidos a partir da probabilidade de presença na sala apontam para a ausência total de usuários para as 3h. Para esse período, consta nas matrizes de transição a inexistência de usuários que estavam e permaneceram presentes no ambiente (t11). Para o método de cadeias de Markov, a soma dos usuários presentes e ausentes deve ser igual a um. Desse modo, mesmo que não haja nenhuma resposta de usuário presente no passo de tempo atual, ainda existe probabilidade de presença no passo de tempo futuro, dada pela chegada de um usuário. Nesse caso, em que as respostas de usuários que estavam presentes no passo de tempo atual e

deixaram o ambiente (t10) ou permaneceram no ambiente (t11) são nulas, as probabilidades de transições para ambas são iguais a 0,5, de modo a totalizar 1.

As tendências verificadas apontam para a baixa probabilidade de presença na sala, a qual é distribuída ao longo do dia. À noite, verifica-se aumento da probabilidade de presença, com dois picos em dias úteis e um pico em dias de final de semana. Em dias de final de semana, a probabilidade de presença é superior, em comparação aos dias úteis. Em todos os períodos da semana verifica-se transição de ocupação próximo às 23h, quando há redução significativa da probabilidade de presença.

A Figura 20 mostra os perfis obtidos para a probabilidade de presença no passo de tempo futuro no dormitório.

Figura 20. Probabilidade de presença no passo de tempo futuro no dormitório.



Os perfis mostram probabilidade máxima de presença durante o período entre 0h e 6h, em concordância com a atividade de descanso associada ao dormitório. De acordo com as matrizes de transição, até as 6h, há predomínio de usuários que estavam presentes no passo de tempo atual e permaneceram presentes no passo de tempo futuro (t11). Com transição acentuada, o perfil caracteriza o decréscimo da probabilidade de presença do usuário no dormitório pelo período da manhã. Por meio das matrizes de transição, verifica-se que às 7h há aumento da ausência de usuários, dada pela soma entre aqueles que permaneceram ausentes e os

que deixam o ambiente (t_{00} e t_{10} , respectivamente). A partir de 8h, os usuários que permanecem ausentes são maioria. A transição do estado de ocupação ocorre com atraso de uma hora em dias de final de semana.

A probabilidade mínima de presença é alcançada às 10h em todos os períodos da semana. As matrizes de transição apontam que para as 10h, não há transição para presença no passo de tempo futuro (t_{01} e t_{11} são nulos). Portanto, para esse passo de tempo, a matriz de probabilidades aponta apenas usuários ausentes, seja pelos usuários que permaneceram ausentes (t_{00}) ou pela transição de usuários que deixam o dormitório (t_{10}).

Em dias úteis, verifica-se um segundo momento em que a probabilidade de presença atinge baixos valores, entre 12h e 13h. Em dias de final de semana, a probabilidade de presença manteve-se abaixo de 0,4 durante o período vespertino.

Uma segunda transição ocorre à noite, quando a probabilidade de presença gradativamente aumenta até atingir o valor máximo. Por meio das matrizes de transição verifica-se que há predomínio de usuários presentes a partir de 21h em dias úteis e, 22h em dias de final de semana. Para esse período, a probabilidade de presença obtida reflete a quantidade de usuários que permaneceram presentes (t_{11}) e os que entram no ambiente (t_{01}).

Ainda que com baixos valores, os perfis de ocupação no dormitório apresentaram probabilidade de presença em outros períodos além do noturno – ao final da manhã e a partir das 17h. Em comparação com perfis de ocupação apresentados por outros estudos, como por exemplo, o estudo conduzido por Mora; Carpino; De Simone (2017), esse resultado se destaca por apresentar um comportamento diferente do reportado anteriormente. Observa-se que ao considerar a ocupação no dormitório apenas no período noturno e parcialmente pela manhã, o perfil de ocupação está considerando exclusivamente a atividade de descanso. O perfil apresentado neste trabalho indica que a ocupação no dormitório está associada a outras atividades também, dado sua ocupação em outros períodos do dia.

Em outro modelo de ocupação baseado em cadeias de Markov de primeira ordem verificou-se perfis de ocupação (na residência, i.e., sem distinção entre ambientes de longa permanência) similares com os obtidos neste trabalho para a probabilidade de presença do usuário no passo de tempo futuro. As transições de estado de ocupação no dormitório verificadas neste trabalho durante o início da manhã e início da noite foram reproduzidas também pelo modelo estocástico desenvolvido por Wilke (2013) para edificações residenciais na Suíça. O modelo citado

ainda apresenta aumento moderado da probabilidade de presença do usuário para o início da tarde. Os resultados apresentados nesta subseção mostraram que para edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis, ocorreu aumento moderado da probabilidade de presença no dormitório às 11h. As similaridades encontradas para os resultados de ocupação indicam que esse comportamento do usuário está mais fortemente relacionado a própria rotina do usuário, do que às características da edificação ou do clima local.

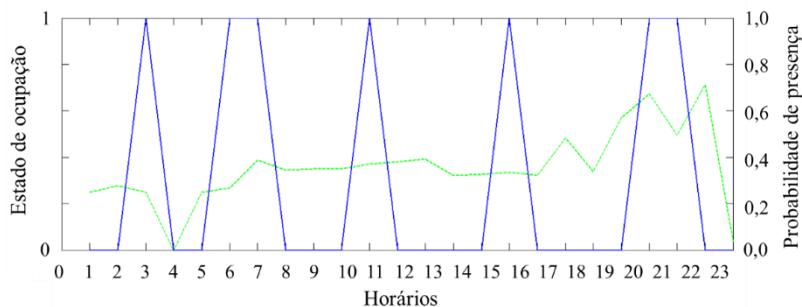
4.2.5 Perfis estocásticos de ocupação

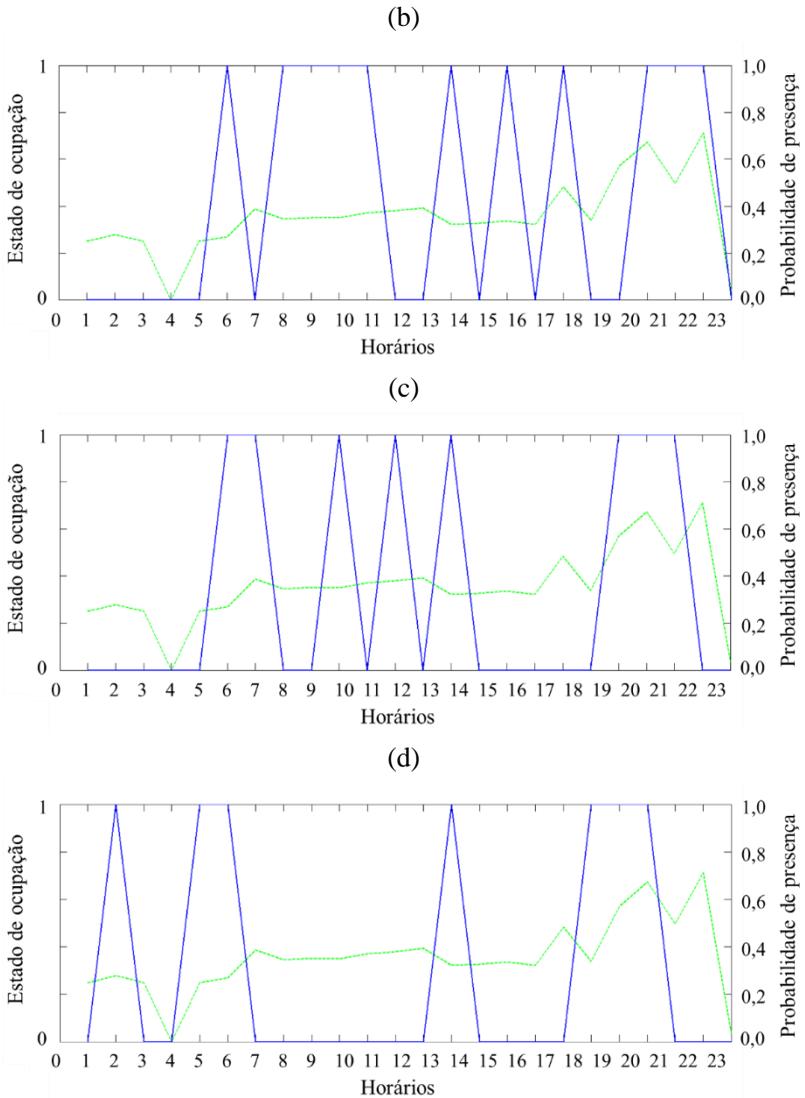
O perfil estocástico de ocupação gerado por meio do modelo desenvolvido demonstra variações dentro das mesmas tendências de ocupação verificadas para a amostra de dados. Tais variações são devidas ao fator de aleatoriedade acrescentado e fazem com que os perfis gerados se aproximem de comportamentos reais do usuário.

A Figura 21 apresenta exemplos de perfis estocásticos de ocupação na sala em dias úteis, obtidos por meio da simulação do modelo desenvolvido. O perfil estocástico é representado em linha contínua azul, juntamente com a probabilidade de presença no passo de tempo futuro, em linha tracejada verde.

Figura 21. Exemplos de perfis estocásticos de ocupação na sala em dias úteis.

(a)





Os perfis estocásticos de ocupação apresentam o estado binário de ocupação de acordo com a representação “0” para usuário ausente e “1” para usuário presente. O modelo estocástico utiliza apenas valores inteiros de ocupação. Em contrapartida, a probabilidade de presença do usuário no passo de tempo futuro (linha tracejada verde) pode assumir valores

decimais. Por não considerar valores decimais, todas as transições de estado de ocupação são apresentadas por uma variação entre 0 e 1.

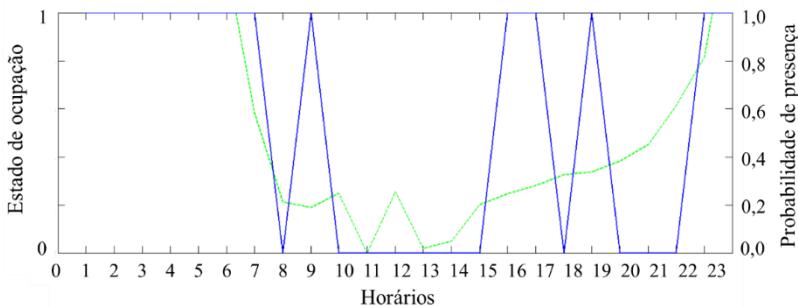
A principal tendência que os perfis estocásticos reproduziram para a sala refere-se à transição no início da noite, quando os usuários ausentes entram no ambiente, a qual passa a ter ocupação por algumas horas. O momento em que se dá essa transição e o período que dura a ocupação foram variados nos diferentes perfis. Outra tendência diz respeito à quantidade de horas de ocupação. Apesar de variações quanto aos horários de entrada e saída do ambiente, de modo geral, foram contabilizadas entre 7 e 11 horas de ocupação ao longo do dia. Em comparação com os dados de monitoramento, somadas as horas de ocupação conforme preenchidas pelos usuários, tem-se uma média de 5h33 com desvio padrão de 3h38. Assim, pode-se considerar que o modelo estocástico de ocupação superestimou a quantidade de horas ocupadas na sala.

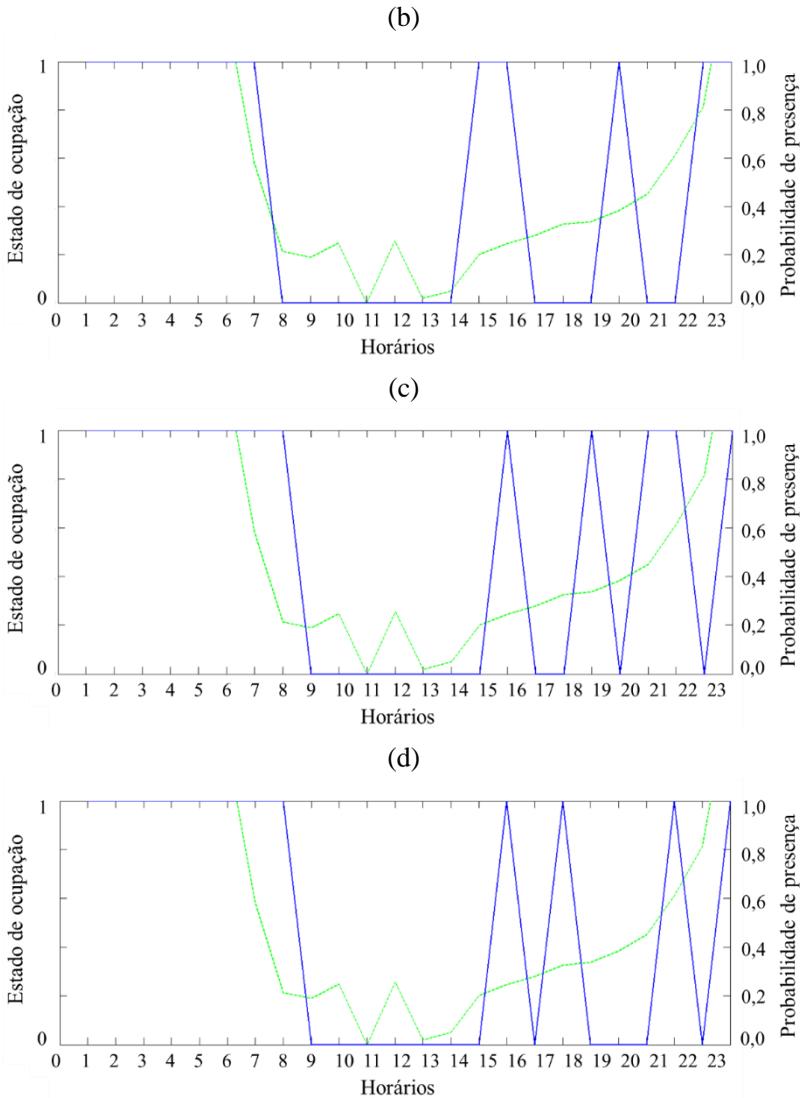
Os perfis demonstraram múltiplas transições de estado de ocupação, contudo em períodos distintos. Por exemplo, em (b) a maior variação ocorre durante o período vespertino e, em (d) durante o período matutino. As múltiplas transições do estado de ocupação refletem a grande variedade de atividades desempenhadas pelos usuários nesse ambiente. Em função disso, o perfil estocástico reproduz as variações quanto aos horários e ao tempo de ocupação.

A Figura 22 apresenta exemplos de perfis estocásticos de ocupação no dormitório em dias úteis, obtidos por meio da simulação do modelo desenvolvido.

Figura 22. Exemplos de perfis estocásticos de ocupação no dormitório em dias úteis.

(a)





Os perfis estocásticos de ocupação no dormitório demonstram como o modelo desenvolvido é capaz de gerar perfis variados, contudo mantendo as tendências gerais de ocupação do ambiente. Todos os perfis mostram a presença de usuários para o período entre 0h e 8h, em concordância com os resultados apresentados para o monitoramento do

comportamento do usuário. No total, os perfis estocásticos apresentaram entre 12 e 13 horas de ocupação ao longo do dia. A quantidade de horas de ocupação obtida diretamente dos dados de monitoramento para o dormitório foi de 9h58, com desvio padrão de 2h25. A associação da ocupação do dormitório com uma atividade predominante de descanso contribuiu para que a quantidade de horas ocupadas variasse menos em relação aos diferentes perfis e, portanto, mantivesse relação estreita com os dados de monitoramento.

A maior quantidade de transições de estado de ocupação foi verificada para o período entre 15h e 20h. As transições observadas condizem com a busca em representar os diferentes horários em que os usuários entram em seus dormitórios. A multiplicidade de respostas obtidas por meio do questionário é traduzida no modelo estocástico a partir do aumento de transições de estado de ocupação. Para os períodos em que há maior consenso entre os respondentes, como, por exemplo, o início do dia, o modelo estocástico gera menor variação no perfil de ocupação.

Em comparação, os perfis estocásticos desenvolvidos por Richardson (2010) consideraram o usuário presente e ativo na residência, independente do ambiente. Nos perfis apresentados no estudo citado verifica-se também a presença de variações no estado de ocupação para os períodos em que há maior diversidade de comportamento. Em contrapartida, nos períodos em que há maior consenso entre os usuários, os perfis apresentaram estado de ocupação constante. Para o período noturno, por exemplo, o perfil estocástico apresentou predominantemente o usuário presente e inativo, i.e., os resultados convergem com a presença do usuário no dormitório em atividade de descanso (representada nesse modelo pelo baixo consumo de energia). Os resultados corroboram com aqueles descritos neste trabalho.

4.2.6 Análise comparativa dos perfis de ocupação monitorados e preditos

A análise comparativa dos perfis de ocupação considerou dois métodos de processamento dos dados de monitoramento. Os perfis de ocupação monitorados, elaborados por meio dos percentuais de usuários presentes em cada horário, representam a utilização direta dos dados de monitoramento. Em contrapartida, os perfis preditos, compostos pelas probabilidades de presença no passo de tempo futuro, são resultado do processo estocástico aplicado à base de dados. As diferenças no processamento dos dados monitorados resultam em perfis diferentes,

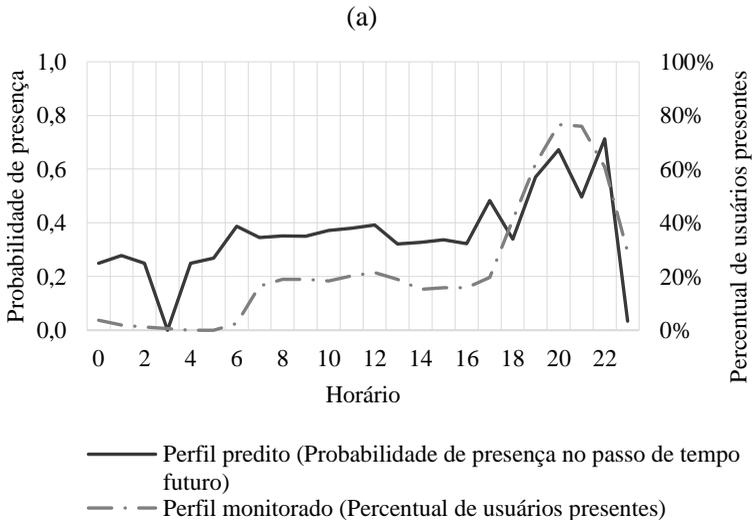
representando o comportamento do usuário com níveis de complexidade distintos.

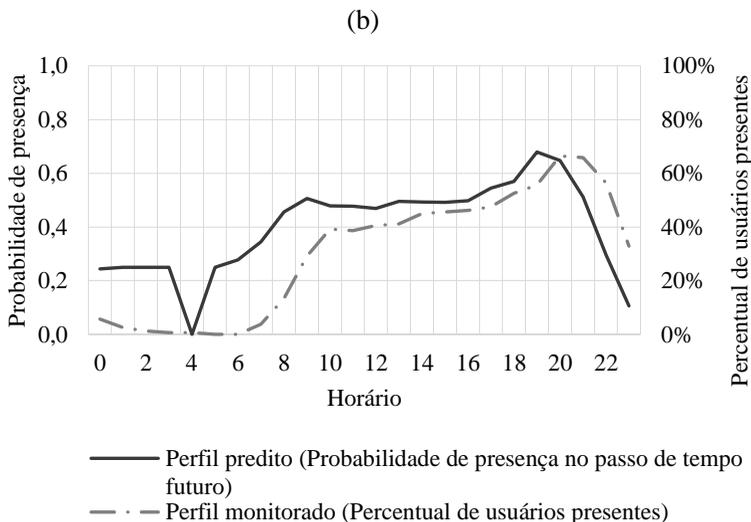
Ao utilizar os percentuais de usuários presentes, os perfis de ocupação monitorados representam uma síntese simples do comportamento do usuário para toda a amostra. Os perfis monitorados utilizam a base de dados de forma direta e assim, caracterizam-se por depender inteiramente das respostas fornecidas pelos moradores.

Os perfis preditos são resultantes da aplicação de processo estocástico aos dados de monitoramento da ocupação. Dessa forma, os perfis preditos têm por objetivo prever o comportamento do usuário ao invés de apenas representá-lo.

Os perfis monitorado e predito de ocupação na sala são apresentados na Figura 23.

Figura 23. Perfis monitorado e predito de ocupação na sala (a) em dias úteis e (b) em dias de final de semana.





A comparação entre os dois perfis obtidos permite verificar que apesar de diferenças nos valores apresentados, ambos reproduzem tendências similares do comportamento do usuário. Ambos os perfis obtidos para a ocupação na sala em dias úteis indicaram a baixa ocupação desse ambiente durante a maior parte do dia. A transição para níveis mais altos de ocupação à medida que se aproxima do período noturno foi reproduzida nos dois perfis de ocupação.

Os perfis apresentados para a sala em dias úteis reproduziram o pico de presença à noite, enquanto os demais períodos do dia mantiveram baixos valores de presença. Em dias de final de semana, os perfis para a sala demonstraram o aumento contínuo da presença de usuários ao longo do período vespertino, alcançando os valores máximos também à noite.

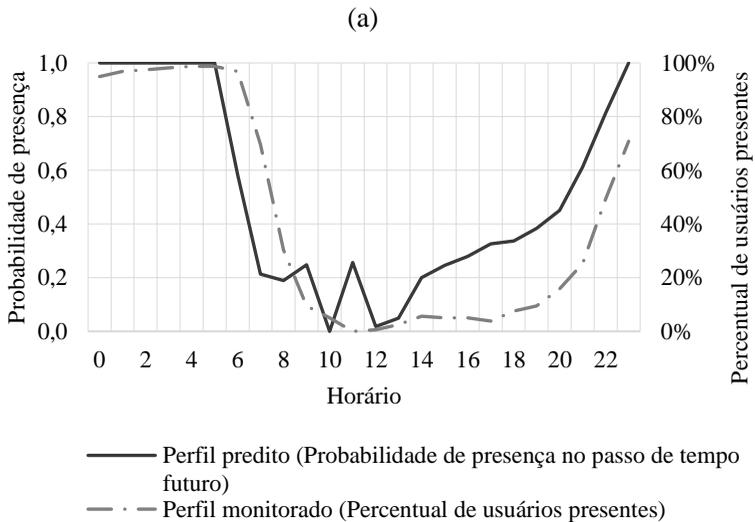
Conforme visto nos resultados do monitoramento, foi encontrada maior diversidade de respostas para a ocupação na sala. Essa diversidade está associada à gama de atividades desempenhadas nesse ambiente, o que acarreta em variação nos horários de ocupação e na duração da ocupação.

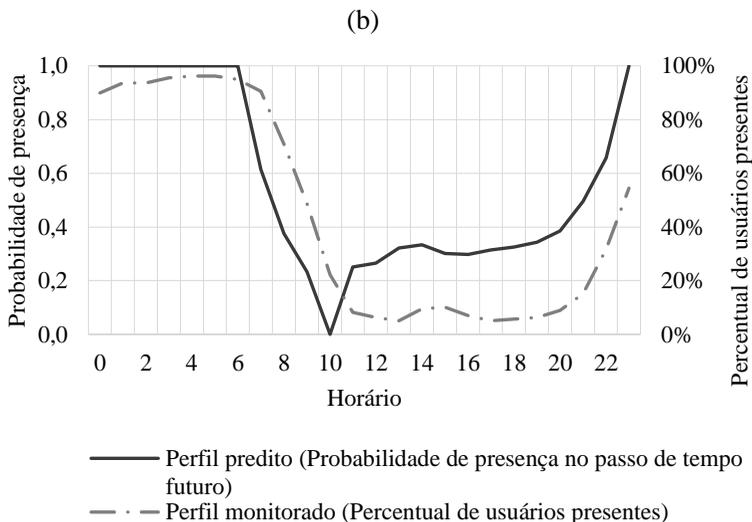
A comparação dos perfis de ocupação na sala em dias de final de semana permite identificar que ambos apresentam pico de ocupação à noite, contudo com atraso de cerca de uma hora entre eles. O atraso de uma hora é o resultado esperado e está relacionado à diferença de processamento de cada perfil. O perfil monitorado apresenta uma síntese

dos dados monitorados para cada hora do dia. Em contrapartida, o perfil predito consiste no resultado do processo estocástico, informando sobre a probabilidade de presença do usuário no passo de tempo futuro. Portanto, essa diferença de uma hora verificada na análise comparativa, corresponde à diferença de um passo de tempo para o qual são obtidos os dados de cada perfil.

A Figura 24 apresenta os perfis monitorado e predito de ocupação no dormitório.

Figura 24. Perfis monitorado e predito de ocupação no dormitório em (a) dias úteis e (b) em dias de final de semana.





O atraso de uma hora entre os perfis monitorados e preditos de ocupação no dormitório é ainda mais evidente, visto que para esse ambiente são reproduzidas duas transições principais. A primeira transição ocorre no início da manhã, quando os usuários deixam o dormitório. Ainda durante o período da manhã, verifica-se maior variação do estado de ocupação para o perfil predito, em comparação com o perfil monitorado, o qual também mantém valores mais baixos de ocupação. Em dias de final de semana, há maior semelhança entre os perfis de ocupação no dormitório, os quais acompanham as transições verificadas no início da manhã e no início da noite. Para a segunda transição do estado de ocupação, que ocorre no início da noite, foi novamente verificado o atraso de uma hora entre os dois perfis. Observa-se ainda que a maior diferença entre os valores dos dois perfis ocorre no período vespertino, intermediário às transições.

Em geral, a probabilidade de presença apresenta valores superiores ao percentual de usuários presentes. Pondera-se que o resultado final do modelo estocástico é um perfil resultante da comparação entre a probabilidade de presença no passo de tempo futuro e um número aleatório. Portanto, mesmo que a probabilidade de presença apresente baixo valor para determinado passo de tempo, existe a possibilidade de o perfil indicar o usuário presente no ambiente. Em comparação, o

percentual de usuários presentes já é o resultado final, o qual foi utilizado para criar o perfil monitorado de ocupação.

Os perfis monitorado e predito têm origem na mesma base de dados. Entretanto, a principal diferença entre eles se dá pela forma como tais dados foram utilizados. A dependência direta dos dados por parte do percentual de usuários presentes faz com que o perfil monitorado tenha menor complexidade, ao apresentar apenas uma síntese dos dados monitorados. O perfil predito utiliza os mesmos dados, contudo de forma indireta e realimentando o modelo com novos dados a cada passo de tempo. Isso gera uma dependência não somente dos dados, mas também do próprio passo de tempo, agregando complexidade ao perfil resultante. Além disso, ao utilizar as matrizes de probabilidade de transição durante o processo estocástico, foram consideradas todas as possibilidades de transição entre os estados de ocupação. Assim, mesmo que nenhum respondente tenha preenchido estar presente em determinado horário, o modelo estocástico ainda considerada a possibilidade de presença, representada pela probabilidade de o usuário entrar no ambiente.

4.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO COMBINADO A VARIÁVEIS DA ENVOLTÓRIA

Os resultados apresentados nesta subseção referem-se à aplicação do modelo estocástico de ocupação por meio de simulações computacionais. Os perfis de ocupação gerados pelo modelo estocástico foram integrados como dados de entrada das simulações, de modo a configurar usuários distintos para cada unidade habitacional. A aplicação do modelo de ocupação foi conduzida concomitantemente à variação de características da envoltória da edificação residencial multifamiliar. A combinação de comportamento do usuário e variáveis da envoltória foi analisada buscando identificar a influência gerada sobre o desempenho termoenergético do objeto de estudo.

4.3.1 Objeto de estudo

Para que fosse mantida a congruência entre os dados monitorados e os objetos simulados, foram analisadas as principais características da planta baixa de pavimento tipo de edificações residenciais multifamiliares construídas e em uso em Florianópolis. A análise de agrupamento foi utilizada para identificar as características comuns às unidades habitacionais de uma amostra de oito empreendimentos concluídos e em uso na cidade. As características analisadas foram: área total da unidade

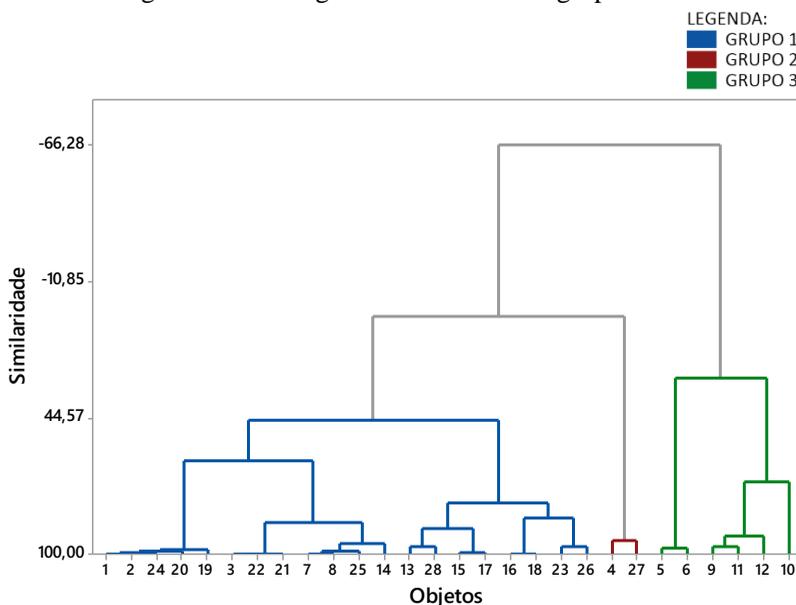
habitacional, área da sala, área média do dormitório, área de abertura da sala, área média de abertura do dormitório e quantidade de dormitórios.

A amostra foi previamente verificada quanto à existência de espúrios. Apenas um empreendimento foi descartado como espúrio. Em comparação com as demais unidades habitacionais, a unidade identificada como espúrio apresentou área total 358% superior à média das demais, além de quantidade de dormitórios excedente.

A análise de agrupamento utilizou a técnica hierárquica de partição e o Método de Ward, a exemplo do estudo conduzido por Balvedi et al. (2018). Os resultados foram verificados por meio do dendograma e apontaram para a configuração de três grupos.

Ressalta-se que para a análise de agrupamento cada objeto representa uma unidade habitacional diferente. Assim, cada edificação residencial multifamiliar analisada foi subdividida em diversos objetos. No total, foram considerados 28 objetos para a análise. A Figura 25 apresenta o dendograma obtido por meio da análise de agrupamento, nele foram destacados com cores diferentes os objetos de cada grupo.

Figura 25. Dendograma da análise de agrupamento.



Os objetos não foram distribuídos igualmente entre os três grupos resultantes. O grupo 1 (em azul, no dendograma) agrupou 20 objetos, dos

quais 13 são unidades habitacionais de dois dormitórios. O grupo 2 (em vermelho) possui apenas dois objetos, representantes de unidades habitacionais de três dormitórios. O grupo 3 (em verde) agrupou seis objetos, sendo todos de um dormitório e caracterizados pela tipologia de estúdio, na qual há integração entre sala e dormitório.

A Tabela 6 apresenta as características da unidade habitacional representativa de cada grupo resultante. A identificação da unidade habitacional representativa considerou a distância do objeto até o centroide do grupo.

Tabela 6. Características da unidade habitacional representativa de cada grupo.

Grupo	Quantidade de dormitórios	Área total da unidade [m ²]	Área da sala [m ²]	Área média de dormitório [m ²]	Área de abertura da sala [m ²]	Área média de abertura do dormitório [m ²]
1	2	69,93	18,93	5,86	7,59	1,20
2	3	142,89	40,19	10,84	9,20	2,46
3	1	35,09	18,31	*	8,28	*

* Apresentado valor único para as áreas de sala e dormitório, visto que há integração total entre esses ambientes na tipologia do Grupo 3.

Dentre as características projetuais consideradas na análise de agrupamento, observa-se que a área total da unidade habitacional e a área média de dormitório foram determinantes no processo de criação dos grupos, dada a variação verificada para esses valores. Em contrapartida, a característica de área de abertura da sala apresentou valores similares entre os três grupos.

O grupo 1 foi composto por unidades habitacionais com área total variando entre 105,16 m² e 58,31 m². Dentro dessa variação encontram-se unidades de dois e de três dormitórios. Por ser o grupo com maior número de objetos, o grupo 1 apresentou também maior diversidade entre as unidades habitacionais.

Apenas dois objetos foram verificados para o grupo 2, sendo ambos caracterizados por unidades habitacionais de três pavimentos e com maiores áreas para cada um dos ambientes de longa permanência. As maiores áreas verificadas para esse grupo podem ser associadas a edificações residenciais multifamiliares destinadas a um público alvo de maior poder aquisitivo. Em estudos anteriores, a relação entre o comportamento e as características socioeconômicas dos usuários foram

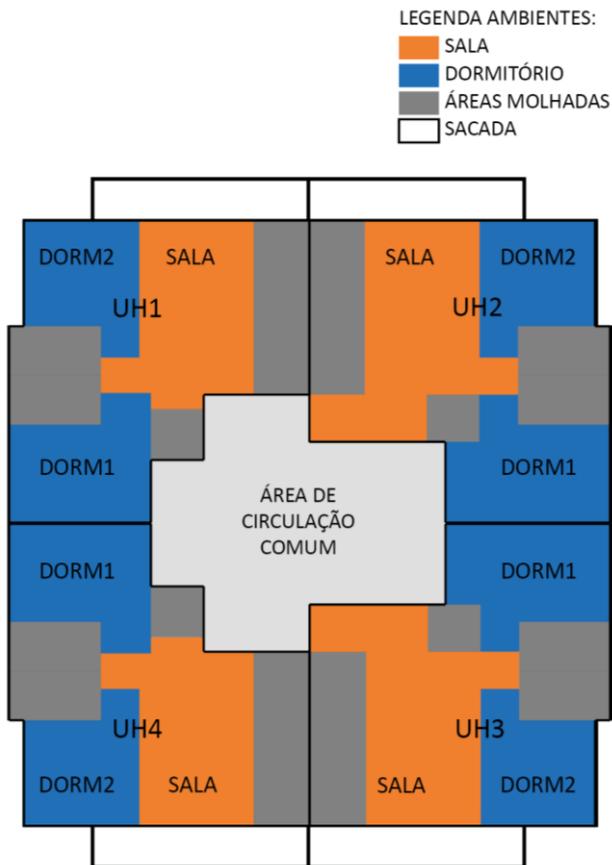
exploradas. Dentre as relações estudadas, foi verificado que ambas a renda familiar e a área da residência mostraram influência diretamente proporcional no consumo energético da edificação.

No grupo 3 foram agrupadas todas as unidades habitacionais com tipologia de estúdio, as quais também são caracterizadas por menores áreas, tendo em vista a integração entre sala e dormitório. Essa tipologia tem mostrado crescimento principalmente em grandes centros urbanos e é uma tendência incorporada pelas construtoras. Entretanto, observa-se que essa tipologia ainda possui poucos exemplares dentro do estoque construído de edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis. Desse modo, os dados obtidos por meio do monitoramento podem apresentar pouca congruência com o real comportamento do usuário dentro desse tipo de unidade habitacional.

Em vista dos resultados obtidos, foi selecionado um único objeto de estudo, referente ao pavimento tipo que abrange a unidade habitacional representativa do grupo 1. A seleção do objeto de estudo considerou os resultados obtidos pela análise de agrupamento na divisão dos grupos em função de suas características projetuais. As características intermediárias apresentadas pelos objetos de grupo 1 foram determinantes para a seleção de um objeto de estudo que representasse de forma mais ampla os exemplares de unidades habitacionais verificados em edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis.

A Figura 26 apresenta o croqui esquemático da planta baixa do pavimento tipo utilizada nas simulações computacionais para analisar a influência do comportamento do usuário combinado a variáveis da envoltória no desempenho termoenergético de edificação residencial multifamiliar.

Figura 26. Croqui esquemático da planta de pavimento tipo da edificação residencial multifamiliar, com indicação das quatro unidades habitacionais.



Na planta esquemática do pavimento tipo foram destacados os ambientes de longa permanência (salas e dormitórios) de cada unidade habitacional. A área central do pavimento é destinada a circulação vertical, sendo área de uso comum a todas as unidades habitacionais.

O pavimento tipo é composto por quatro unidades habitacionais semelhantes, com pequenas variações nas áreas dos ambientes. Cada unidade habitacional é composta de sala semi-integrada a cozinha, dois

dormitórios, dois banheiros e um lavabo. A distribuição dos ambientes segue o mesmo *layout* em todas as unidades habitacionais.

4.3.2 Perfis de comportamento do usuário no modelo computacional

O comportamento do usuário foi configurado em duas etapas no modelo computacional. Inicialmente foi configurada a ocupação dos ambientes de longa permanência com diferenciação entre dias úteis e dias de final de semana. Para isso foram utilizados os perfis estocásticos de ocupação resultantes da simulação do modelo desenvolvido. Na sequência, as operações de elementos da edificação foram configuradas a partir de perfis estáticos obtidos por meio dos resultados da base de dados do monitoramento do comportamento do usuário.

4.3.2.1 Perfis estocásticos de ocupação

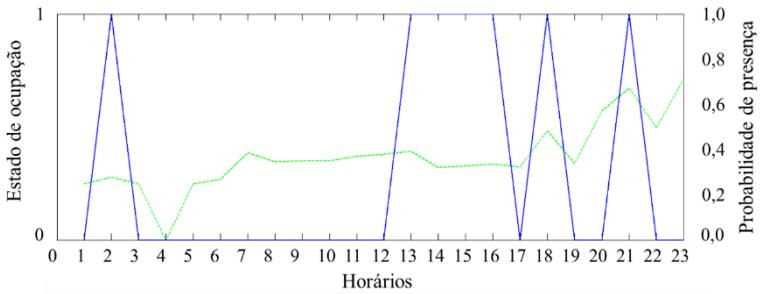
O modelo de ocupação desenvolvido obtém, a cada nova simulação, um perfil estocástico de ocupação que reproduz as principais tendências desse comportamento, de acordo com os dados monitorados. Contudo, os perfis estocásticos gerados diferenciam-se entre si pela variação dos horários em que ocorrem as transições de estado de ocupação e pela duração de cada ocupação.

Ao utilizar os perfis estocásticos para configurar a ocupação nas unidades habitacionais, as simulações computacionais estarão considerando o fator de aleatoriedade que caracteriza o comportamento do usuário em cenários reais de uso da edificação.

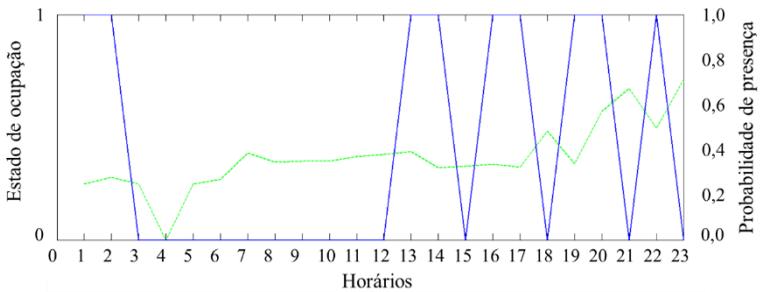
O modelo estocástico de ocupação forneceu informações sobre a ocupação na sala e no dormitório, diferenciada para dias úteis e dias de final de semana. A ocupação das unidades habitacionais do pavimento tipo da edificação residencial multifamiliar foi configurada de acordo com os perfis obtidos pelo modelo estocástico de ocupação. Os perfis são apresentados agrupados conforme o ambiente e o período da semana. A Figura 27 mostra os perfis resultantes de ocupação na sala em dias úteis configurados para cada uma das unidades habitacionais que compõem o pavimento tipo da edificação residencial multifamiliar. Adotou-se uma linha azul contínua para apresentar o perfil estocástico de ocupação, enquanto a linha verde tracejada representa a probabilidade de presença no passo de tempo futuro.

Figura 27. Perfis de ocupação na sala em dias úteis, para as unidades habitacionais (a) UH1, (b) UH2, (c) UH3 e (d) UH4.

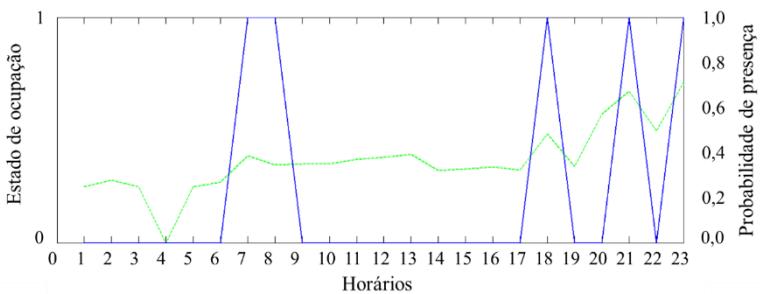
(a) UH1

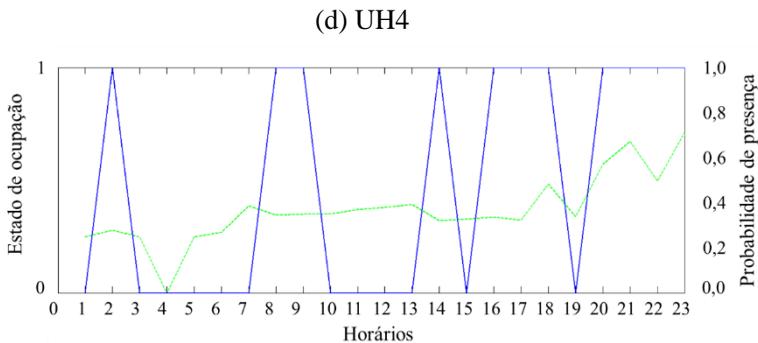


(b) UH2



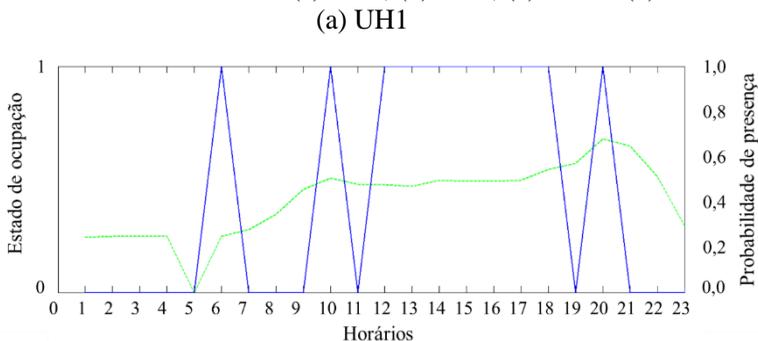
(c) UH3

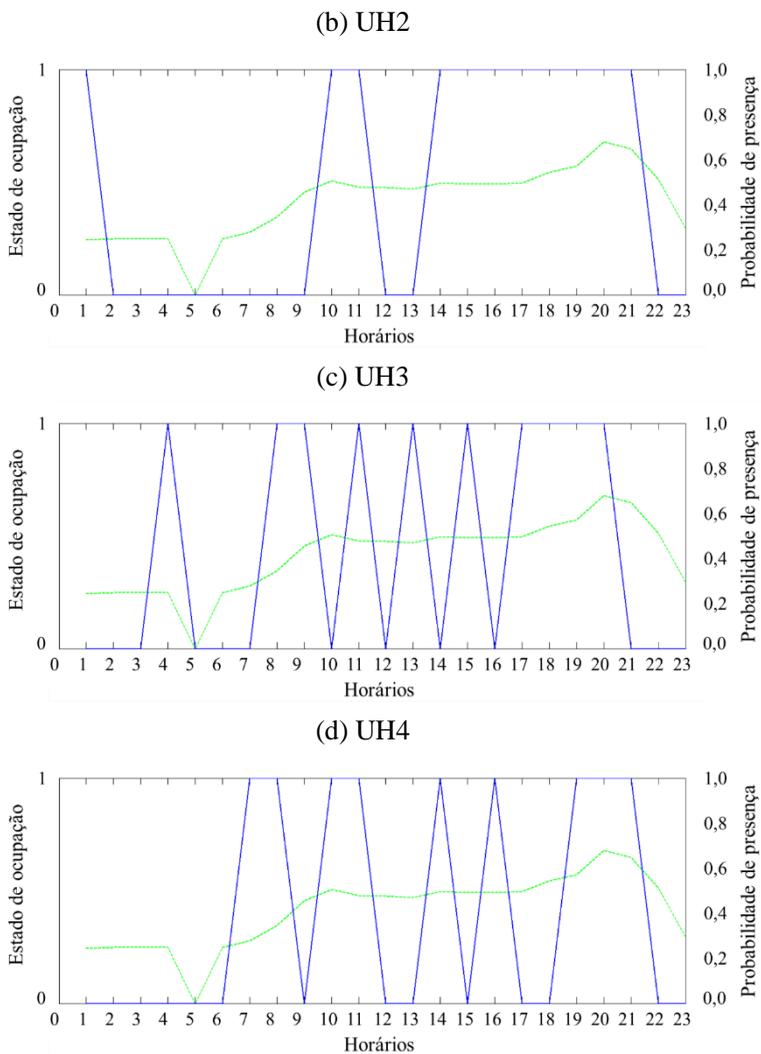




Os perfis de ocupação na sala em dias de final de semana são apresentados na Figura 28.

Figura 28. Perfis de ocupação na sala em dias de final de semana, para as unidades habitacionais (a) UH1, (b) UH2, (c) UH3 e (d) UH4.

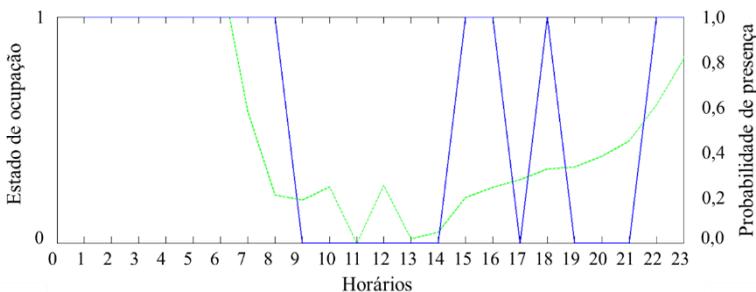




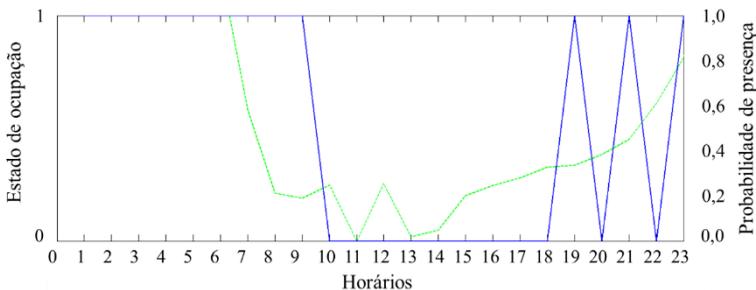
A Figura 29 mostra os perfis de ocupação no dormitório em dias úteis configurados para cada unidade habitacional.

Figura 29. Perfis de ocupação no dormitório em dias úteis, para as unidades habitacionais (a) UH1, (b) UH2, (c) UH3 e (d) UH4.

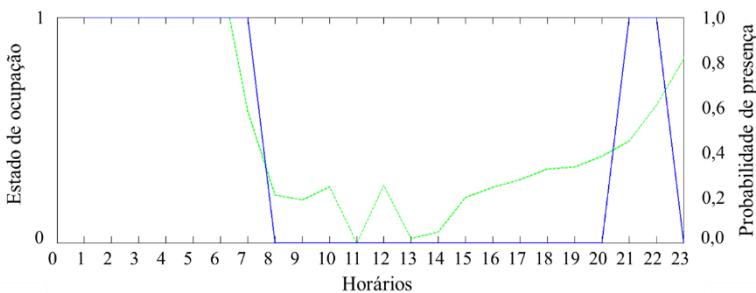
(a) UH1

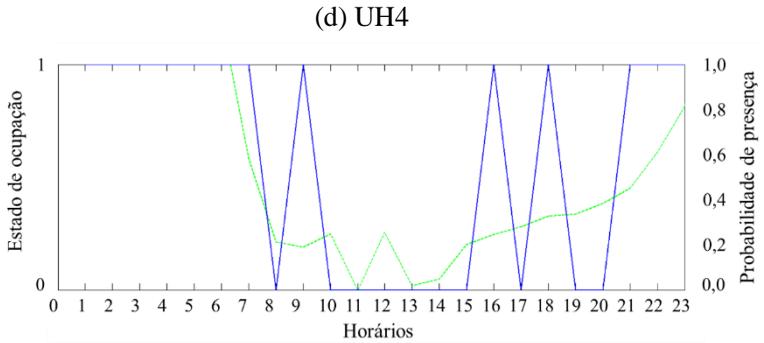


(b) UH2



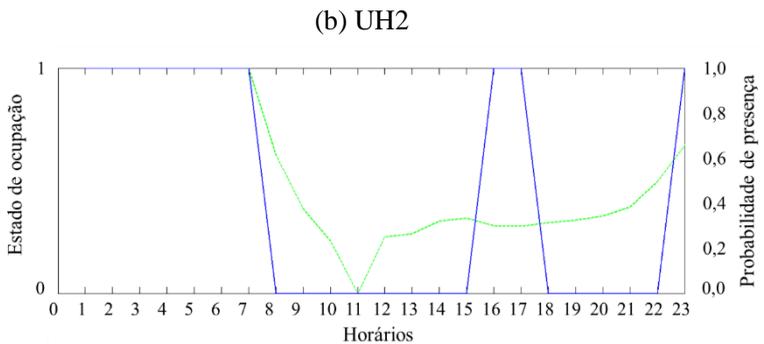
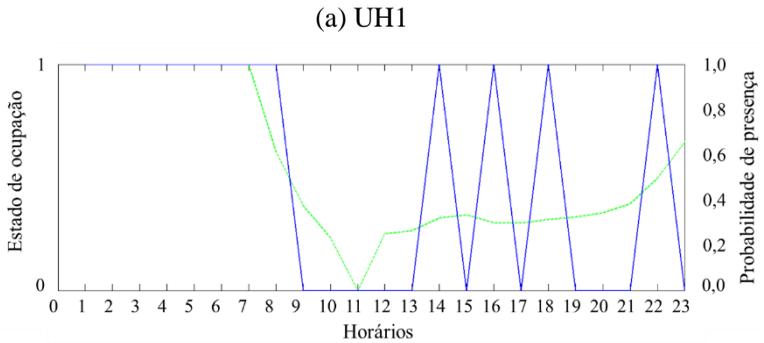
(c) UH3



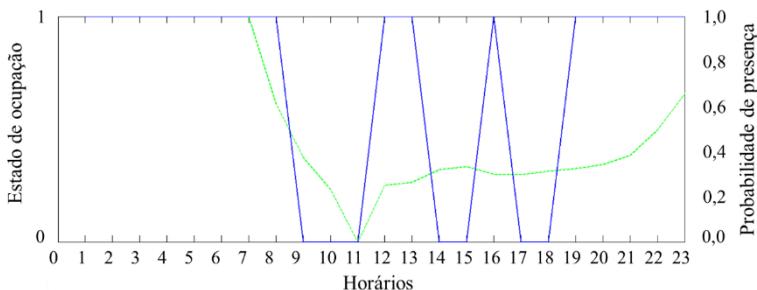


Os perfis de ocupação no dormitório em dias de final de semana são apresentados na Figura 30.

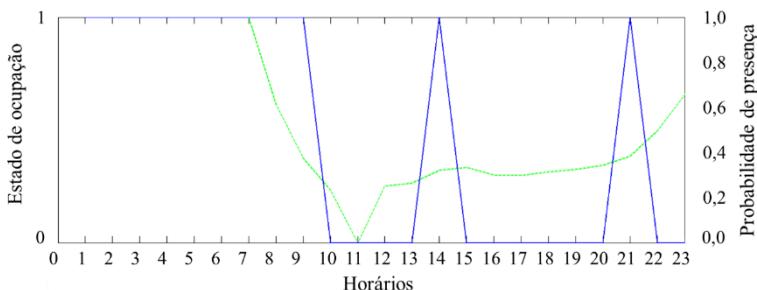
Figura 30. Perfis de ocupação no dormitório em dias de final de semana, para as unidades habitacionais (a) UH1, (b) UH2, (c) UH3 e (d) UH4.



(c) UH3



(d) UH4



4.3.2.2 Perfis estáticos de operação dos elementos da edificação

A operação de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas nas unidades habitacionais foi configurada por meio de perfis estáticos referentes aos modos de operação descritos no monitoramento do comportamento do usuário. Os dados monitorados foram analisados para que a configuração das operações reproduzisse a mesma proporção de respostas verificadas junto aos moradores de edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis.

Os percentuais de resposta obtidos para cada modo de operação de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 6, 7 e 8.

O percentual de respostas obtidas para cada modo de operação foi multiplicado pelo número total de unidades habitacionais do pavimento tipo. Os resultados desse produto indicaram quantas unidades habitacionais deveriam ser configuradas com cada modo de operação, para que fosse mantida a mesma proporção encontrada nos dados monitorados.

Tabela 7. Percentual de respostas obtidas para cada modo de operação do sistema de ar-condicionado.

Operação do sistema de ar-condicionado	Percentual de respostas obtidas para sala	Percentual de respostas obtidas para dormitório
Raramente acionado	8%	6%
Usando somente no verão, durante o período noturno	4%	28%
Usado somente no verão, em mais de um período do dia	14%	9%
Desligo após um curto período ligado, quando a temperatura do ambiente está agradável	12%	15%
Usado no verão e no inverno, durante o período noturno	1%	10%
Usado no verão e no inverno, em mais de um período do dia	6%	6%
Não possui sistema de condicionamento artificial nesse ambiente	54%	26%

Tabela 8. Percentual de respostas obtidas para cada modo de operação de persianas.

Operação de persianas	Percentual de respostas obtidas para sala	Percentual de respostas obtidas para dormitório
Sempre aberta	36%	9%
Aberta somente quando estou no ambiente	7%	10%
Aberta sempre que as janelas estão abertas	16%	18%
Fechada somente no período noturno	19%	39%
Sempre fechada	9%	9%
Não possui cortina/persiana interna	5%	11%
Outro	8%	3%

Tabela 9. Percentual de respostas obtidas para cada modo de operação de janelas.

Operação de janelas	Percentual de respostas obtidas para sala	Percentual de respostas obtidas para dormitório
Sempre aberta.	30%	20%
Aberta somente quando estou no ambiente.	27%	26%
Aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar.	28%	41%
Sempre fechada.	3%	3%
Outro	11%	11%

Após definida essa proporção, a distribuição dos modos de operação dos elementos da edificação entre as unidades habitacionais foi feita de forma aleatória.

O Quadro 1 apresenta os modos de operação de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas configurados em cada uma das unidades habitacionais do pavimento tipo, no modelo computacional.

Quadro 1. Modos de operação dos elementos da edificação, por unidade habitacional.

Unidade habitacional	Ambiente	Operação do sistema de ar-condicionado	Operação de persianas	Operação de janelas
UH1	Sala	Acionamento em mais de um período do dia	Fechada somente à noite	Aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar
	Dormitório	Inexistente	Fechada somente à noite	Aberta somente quando estou no ambiente

Continuação Quadro 1. Modos de operação dos elementos da edificação, por unidade habitacional.

Unidade habitacional	Ambiente	Operação do sistema de ar-condicionado	Operação de persianas	Operação de janelas
UH2	Sala	Inexistente	Sempre aberta	Sempre aberta
	Dormitório	Acionamento durante o período noturno	Aberta sempre que as janelas estão abertas	Aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar
UH3	Sala	Desligo após um curto período, quando a temperatura do ambiente está agradável	Aberta sempre que as janelas estão abertas	Aberta somente quando estou no ambiente
	Dormitório	Inexistente	Fechada somente à noite	Sempre aberta
UH4	Sala	Inexistente	Sempre aberta	Sempre aberta
	Dormitório	Acionamento durante o período noturno	Fechada somente à noite	Aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar

Outros modos de operação dos elementos da edificação citados no monitoramento e que não aparecem no Quadro 1 receberam menores percentuais de resposta e, portanto, não foram utilizados para configurar as unidades habitacionais no modelo computacional. O número de unidades habitacionais do pavimento tipo limitou a distribuição das diferentes operações de janelas, persianas e sistema de ar-condicionado.

4.3.3 Projeto de experimentos

As simulações computacionais com a combinação do comportamento do usuário e das variáveis da envoltória foram planejadas de acordo com o projeto de experimentos. As variáveis da envoltória foram alternadas em dois níveis cada, totalizando 16 combinações possíveis entre as quatro variáveis selecionadas e seus níveis. Os sinais de (+) e (-) representam, respectivamente, os níveis superiores e inferiores das variáveis da envoltória, os quais são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Níveis superior e inferior das variáveis da envoltória selecionadas.

Variáveis da envoltória	Símbolo	Nível inferior (-)	Nível superior (+)
		LEGENDA AMBIENTES: SALA DORMITÓRIO ÁREAS MOLHADAS SACADA	
Orientação solar	O	<p>Eixo Norte-Sul</p>	<p>Eixo Leste-Oeste</p>
Composição de paredes externas	C_{PE}	Composição 1: placa de gesso interna, bloco cerâmico e argamassa externa	Composição 2: argamassa interna, bloco de concreto, câmara de ar, bloco de concreto, argamassa externa
Absortância solar de paredes externas	α_P	Superfície de cor clara ($\alpha_P = 0,20$)	Superfície de cor escura ($\alpha_P = 0,80$)
Fator solar dos vidros	F_{SV}	Vidro de controle solar ($F_{SV} = 0,25$)	Vidro simples incolor ($F_{SV} = 0,87$)

O planejamento das simulações consistiu em combinar todos os níveis das variáveis da envoltória. Desse modo, as simulações computacionais foram conduzidas conforme apresenta a matriz de experimentos na Tabela 11, na qual os níveis inferiores são representados por símbolos de (-) e os níveis superiores por símbolos (+).

Tabela 11. Matriz de experimentos para o planejamento das simulações computacionais.

Simulação	Orientação solar	Composição de paredes externas	Absortância solar de paredes externas	Fator solar dos vidros
1	+	+	+	+
2	-	+	+	+
3	+	-	+	+
4	-	-	+	+
5	+	+	-	+
6	-	+	-	+
7	+	-	-	+
8	-	-	-	+
9	+	+	+	-
10	-	+	+	-
11	+	-	+	-
12	-	-	+	-
13	+	+	-	-
14	-	+	-	-
15	+	-	-	-
16	-	-	-	-

A interpretação da matriz de experimentos aponta em cada linha quais os níveis em que as variáveis foram configuradas nas simulações computacionais. Por exemplo, a simulação 1 foi conduzida com todas as variáveis da envoltória em seus níveis superiores.

As 16 simulações computacionais foram conduzidas com o programa EnergyPlus, cujos dados de saída referem-se às temperaturas operativas de cada zona térmica. Na sequência, foram obtidos os indicadores de graus hora de resfriamento e de aquecimento, para cada ambiente de longa permanência. Os resultados foram agrupados de forma a representar os graus hora de resfriamento e de aquecimento para o pavimento tipo, i.e., considerando as salas e dormitórios das quatro

unidades habitacionais. Dessa forma, os resultados das simulações computacionais foram processados e sintetizados em apenas dois indicadores que representam o desempenho termoenergético do pavimento tipo da edificação residencial multifamiliar. Esses dois indicadores foram utilizados para a obtenção dos efeitos principais e efeitos de combinação das variáveis de estudo, por meio da matriz de experimentos.

Ao considerar como exemplo as simulações 1 e 2 da matriz de experimentos, houve variação apenas do nível da orientação solar. Assim, a diferença $y_1 - y_2$ é resultado da variação dessa variável de estudo, enquanto as demais são mantidas constantes, conforme exemplifica a Tabela 12. Cada variável de estudo obteve 2^{n-1} resultados, sendo um para cada combinação com as demais variáveis. A Tabela 12 demonstra como foi obtido o efeito principal de uma variável em destaque (orientação solar) sobre a variável resposta de graus hora de resfriamento.

Tabela 12. Matriz de experimentos com ênfase nos efeitos da orientação solar na variável resposta de graus hora de resfriamento (GHR).

Combinação	O	C _{PE}	α_P	F _{SV}	GHR	Efeito da variável da envoltória sobre a variável resposta (GHR)
1	+	+	+	+	y ₁	y ₁ - y ₂
	-	+	+	+	y ₂	
2	+	-	+	+	y ₃	y ₃ - y ₄
	-	-	+	+	y ₄	
3	+	+	-	+	y ₅	y ₅ - y ₆
	-	+	-	+	y ₆	
4	+	-	-	+	y ₇	y ₇ - y ₈
	-	-	-	+	y ₈	
5	+	+	+	-	y ₉	y ₉ - y ₁₀
	-	+	+	-	y ₁₀	
6	+	-	+	-	y ₁₁	y ₁₁ - y ₁₂
	-	-	+	-	y ₁₂	
7	+	+	-	-	y ₁₃	y ₁₃ - y ₁₄
	-	+	-	-	y ₁₄	
8	+	-	-	-	y ₁₅	y ₁₅ - y ₁₆
	-	-	-	-	y ₁₆	

O método para obtenção dos efeitos principais e de combinação foi replicado duas vezes ao considerar os dois indicadores de desempenho termoenergético da edificação. Os efeitos de combinação foram obtidos de modo similar aos efeitos principais, porém considerando a multiplicação dos sinais das variáveis combinadas.

A matriz de experimentos que representa todas as combinações possíveis entre as quatro variáveis de estudo é apresentada na Tabela 13. Foi utilizado o sinal de multiplicação para indicar a combinação entre as variáveis. Desse modo, a combinação entre orientação solar e composição de paredes externas foi representada por: $O \times C_{PE}$. A última coluna da matriz de experimentos corresponde à combinação de todas as variáveis da envoltória ao mesmo tempo.

Tabela 13. Matriz de experimentos com todas as combinações entre variáveis da envoltória.

Simulação	O	C _{PE}	αP	F _S V	O x C _{PE}	O x αP	O x F _S V	C _{PE} x αP	C _{PE} x F _S V	αP x F _S V	O x C _{PE} x αP	O x C _{PE} x F _S V	O x αP x F _S V	C _{PE} x αP x F _S V	O x C _{PE} x αP x F _S V
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-
4	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+
5	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
6	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+
7	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+
8	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-
9	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-
10	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+
11	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+
12	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-
13	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+
14	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-
15	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
16	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+

4.3.4 Análise dos resultados

Os resultados obtidos por meio das simulações computacionais e do projeto de experimento representam a influência combinada entre comportamento do usuário e variáveis da envoltória sobre o desempenho termoenergético de uma edificação residencial multifamiliar.

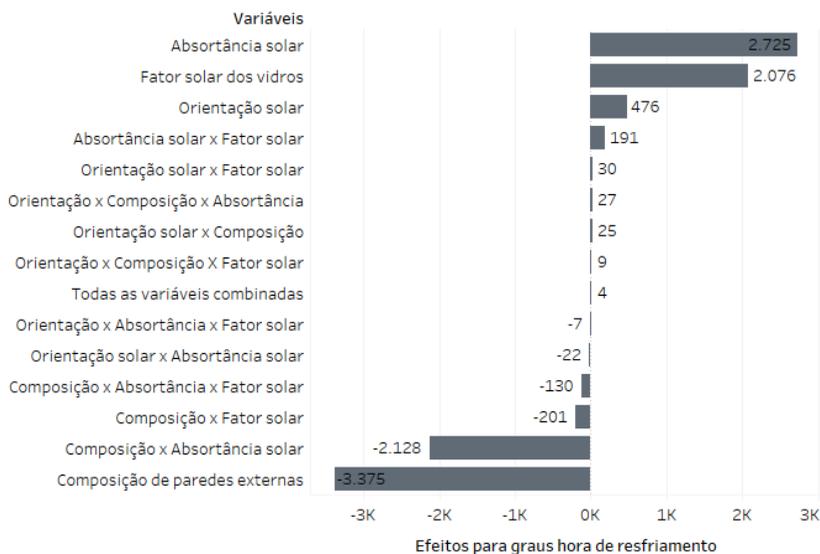
A variação do comportamento do usuário foi conduzida por meio da configuração de diferentes perfis em cada unidade habitacional que compõe o pavimento tipo. As interações com elementos da edificação foram configuradas com perfis estáticos baseados nos dados de monitoramento do comportamento do usuário.

As variáveis da envoltória foram variadas em dois níveis e as combinações entre elas foram elaboradas por meio do projeto de experimentos. Os resultados obtidos para efeitos principais e efeitos de combinação foram analisados para a influência das variáveis da envoltória (combinadas ao comportamento do usuário) sobre os indicadores de graus hora de resfriamento e de aquecimento.

A análise desses resultados permite identificar onde deve estar o foco do projeto da edificação para melhorar o seu desempenho termoenergético.

A Figura 31 apresenta os efeitos principais e de combinação sobre a variável resposta de graus hora de resfriamento. No eixo y são apresentadas as variáveis da envoltória e as combinações entre variáveis. O eixo x apresenta os resultados obtidos para os efeitos dessas variáveis sobre a variável resposta. Os efeitos obtidos foram organizados em ordem crescente de valores.

Figura 31. Efeitos das variáveis de estudo sobre a variável resposta de graus hora de resfriamento.



De acordo com os valores obtidos para os efeitos, a composição de paredes externas foi a variável mais influente sobre o indicador graus hora de resfriamento, seguida da absortância solar, cujo efeito tem grandeza equivalente a 81% da primeira variável. O efeito de combinação entre essas duas variáveis (composição x absortância solar) representou a terceira maior influência, a qual foi superior aos efeitos principais de fator solar dos vidros e de orientação solar.

O efeito de sinal negativo obtido para a composição de paredes externas indica que ao alterar essa variável do nível inferior para o superior houve redução do indicador graus hora de resfriamento. Essa variação entre os níveis da composição de paredes externas condiz com reduzir a transmitância térmica e aumentar a capacidade térmica, conforme verificado nas propriedades termofísicas das duas composições selecionadas. A composição 2 de paredes externas (correspondente ao nível superior), caracterizada por dupla camada de blocos de concreto, favoreceu o desempenho termoenergético da edificação. Essa composição de parede possui alta inércia térmica, atuando como um amortizador entre a temperatura externa e interna. A baixa transmitância térmica e o alto atraso térmico da composição 2 de paredes externas

caracterizam o seu potencial de armazenamento de calor. A transferência do calor armazenado pela parede depende da diferença entre as temperaturas interna e externa. Em função da amplitude térmica diária, os picos de temperatura externa não são repassados para o interior da edificação, contribuindo para a manutenção de temperaturas mais próximas da faixa de conforto térmico.

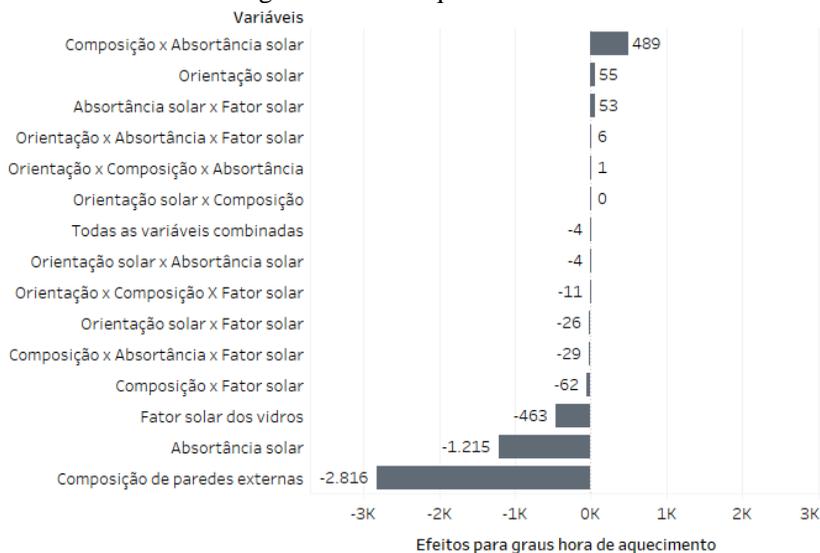
Os efeitos obtidos para a absorvância solar, fator solar dos vidros e orientação solar apresentaram sinal positivo. Esse resultado indica que alterar o nível dessas variáveis do inferior para o superior gerou aumento do indicador de graus hora de resfriamento.

Outros efeitos de sinal positivo, porém em menor grandeza, foram verificados ao substituir o vidro de controle solar por vidro simples incolor e também ao alterar a orientação solar dos eixos Norte-Sul para Leste-Oeste. O efeito obtido para a orientação solar corresponde a apenas 23% do efeito do fator solar dos vidros.

Com exceção da combinação entre composição de paredes externas e absorvância solar, todas as demais combinações entre as variáveis da envoltória resultaram em efeitos com valores baixos, sendo o menor efeito encontrado para a combinação de todas as variáveis juntas.

Os efeitos principais e de combinação obtidos para a variável resposta de graus hora de aquecimento são apresentados na Figura 32.

Figura 32. Efeitos das variáveis de estudo sobre a variável resposta de graus hora de aquecimento.



A composição de paredes externas foi a variável mais influente também sobre o indicador graus hora de aquecimento. O efeito resultante manteve sinal negativo, porém menor valor, representando 83% do efeito verificado para graus hora de resfriamento. Novamente, a alteração para a composição 2 de paredes externas contribuiu para o desempenho termoenergético da edificação. As características dessa composição proporcionam menor percentual de transferência de calor entre os ambientes internos e externos. Durante o período frio, isso representa menor perda de calor para o ambiente externo, o que somado às cargas térmicas internas resulta em temperaturas internas dentro da faixa de conforto térmico por mais horas.

Destacam-se também o efeito principal obtido para a absortância solar e o efeito de combinação entre composição de paredes externas e absortância solar. Ambos apresentaram significativa influência sobre o indicador graus hora de aquecimento, sendo que o primeiro efeito tem sinal negativo e o segundo, positivo.

O efeito do fator solar dos vidros foi negativo para o indicador graus hora de aquecimento, mostrando que ao substituir o vidro de controle solar por vidro simples e de menor espessura, as áreas

envidraçadas da envoltória tornam-se mais susceptível às trocas térmicas, facilitando o ganho de calor por meio de radiação solar incidente.

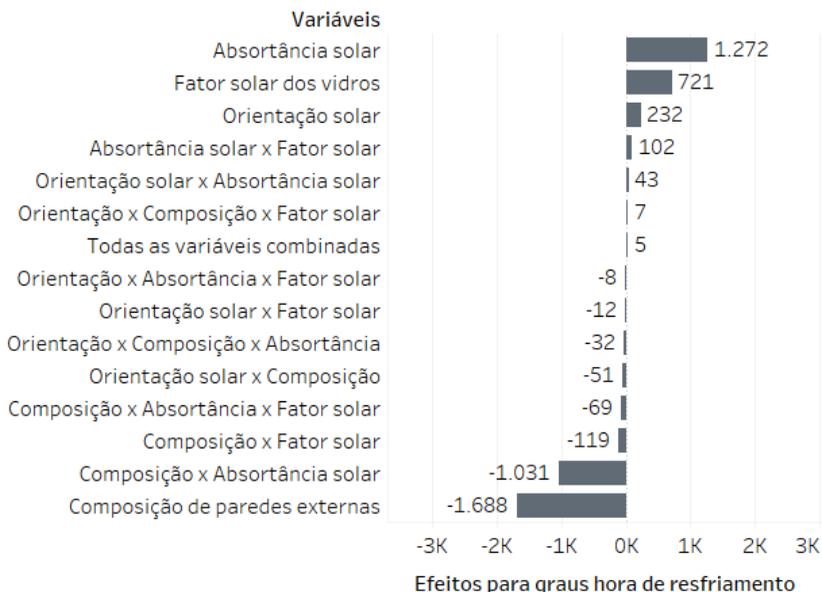
A diferença entre as grandezas dos efeitos principais foi maior para os graus hora de aquecimento, visto que o efeito da orientação solar corresponde a apenas 2% do efeito da variável de maior influência (composição de paredes externas). Para os graus hora de resfriamento, o efeito da orientação solar é 14% do efeito de maior influência.

A exemplo do verificado anteriormente, os efeitos da combinação entre variáveis resultaram efeitos com baixos valores, inclusive com efeito nulo para a combinação entre orientação solar e composição de paredes externas.

Os resultados apresentados demonstraram a influência das variáveis da envoltória sobre o desempenho dos ambientes de longa permanência do pavimento tipo da edificação de estudo. Dentre esses ambientes, observa-se que alguns são mantidos com condicionamento artificial, enquanto os demais são naturalmente ventilados. Para subtrair a influência que o sistema de ar-condicionado configurado pode exercer sobre os resultados, foi conduzido um recorte do estudo, no qual o cálculo dos efeitos principais e de combinação considerou apenas os graus hora resultantes para o dormitório 2, ambiente mantido exclusivamente com ventilação natural em todas as unidades habitacionais.

Os resultados obtidos para o dormitório 2 referentes aos efeitos sobre a variável resposta de graus hora de resfriamento são apresentados na Figura 33.

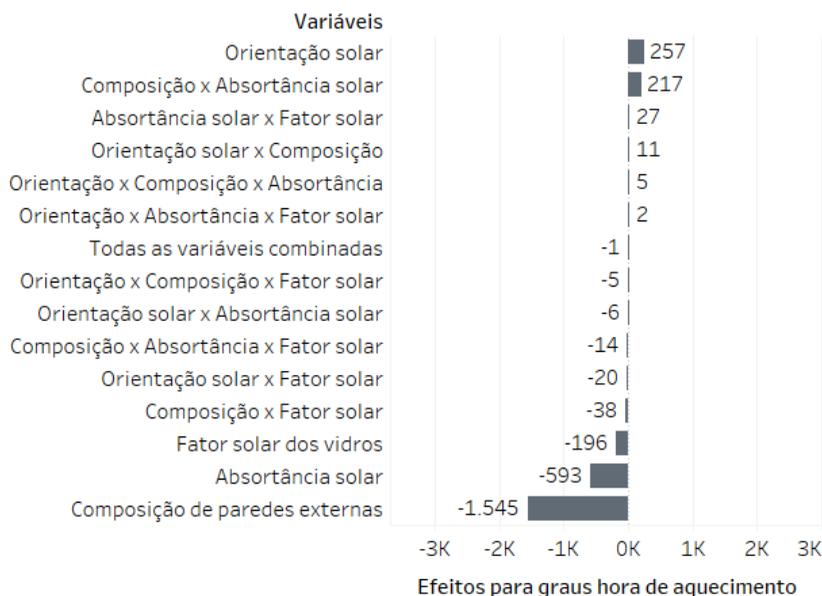
Figura 33. Efeitos das variáveis de estudo sobre os graus hora de resfriamento para o dormitório 2.



Os resultados demonstram que considerando apenas ambientes naturalmente ventilados, a composição de paredes externas mantém-se como variável de maior influência sobre o indicador de desempenho termoenergético, seguida da absortância solar. Os efeitos obtidos para o dormitório 2 reproduziram as mesmas tendências observadas ao considerar todos os ambientes de longa permanência, quanto à ordem das variáveis de maior influência sobre graus hora de resfriamento. Contudo, os valores obtidos para esses efeitos correspondem a cerca de 50% daqueles obtidos anteriormente.

A Figura 34 apresenta os efeitos principais e de combinação sobre a variáveis resposta de graus hora de aquecimento, para o dormitório 2.

Figura 34. Efeitos das variáveis de estudo sobre os graus hora de resfriamento para o dormitório 2.



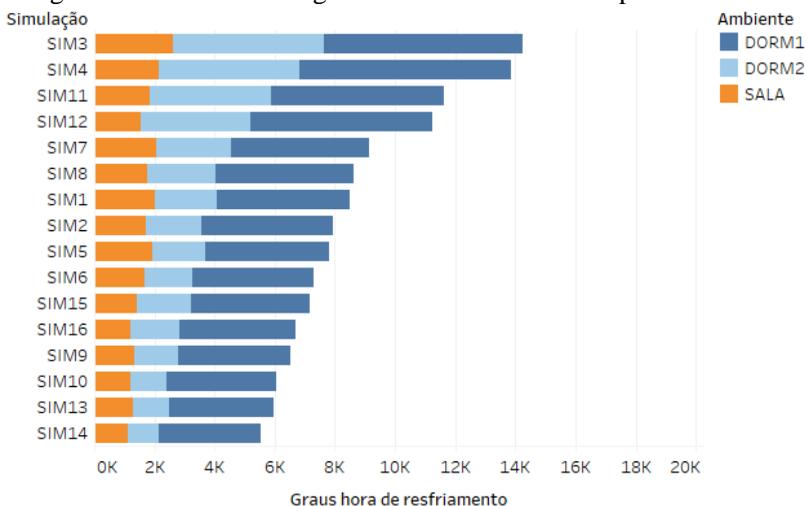
Os efeitos obtidos para o dormitório 2 mostram que novamente as variáveis da envoltória com maior influência sobre o desempenho termoenergético foram a composição de paredes externas e a absortância solar da superfície externa. Ao considerar somente ambientes naturalmente ventilados, houve aumento da influência da orientação solar, sendo a variável com o terceiro maior efeito sobre graus hora de aquecimento. Em comparação, a orientação solar obteve apenas o sexto maior efeito dentre os resultados obtidos anteriormente, para todos os ambientes de longa permanência. A comparação mostra ainda que a grandeza dos efeitos obtidos para os ambientes naturalmente ventilados equivale a aproximadamente 50% daquela obtida ao considerar todos os ambientes de longa permanência.

De modo geral, a diferença encontrada entre os valores dos efeitos para graus hora de resfriamento e de aquecimento foi menor quando considerados somente os dormitórios naturalmente ventilados. O efeito da composição de paredes externas sobre graus hora de aquecimento corresponde a 91% do obtido para graus hora de resfriamento, por exemplo. A influência da combinação de múltiplas variáveis sobre o

desempenho termoenergético manteve-se pouco significativa, reforçando que a influência das variáveis estudadas tem efeito não-aditivo.

À parte aos efeitos principais e de combinação, os resultados obtidos por meio das simulações computacionais foram também analisados para cada simulação e para cada ambiente. A Figura 35 apresenta tais resultados para o indicador de graus hora de resfriamento.

Figura 35. Resultados de graus hora de resfriamento por ambiente.



As simulações que resultaram em maiores valores de graus hora de resfriamento referem-se àquelas configuradas com composição de paredes externas em nível inferior e absorvância solar em nível superior (simulações 3, 4, 11 e 12, em ordem decrescente). Desse modo, combinaram-se paredes externas com apenas uma camada de blocos cerâmicos e superfície externa em cor escura.

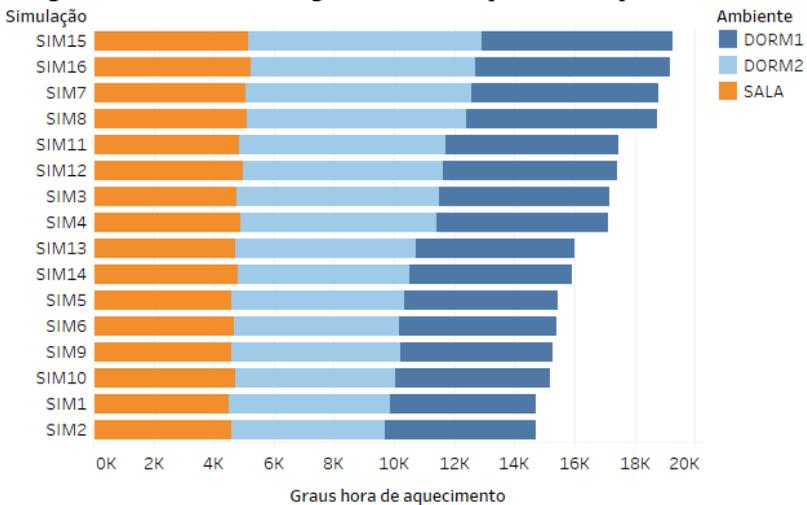
Em contrapartida, o menor valor de graus hora de resfriamento foi encontrado para a simulação 14, cuja combinação configurou as mesmas variáveis nos níveis inversos, i.e., paredes externas com camada dupla de blocos de concreto e superfície externa de cor clara. Essa configuração caracterizou-se ainda por orientação solar no eixo Norte-Sul e vidro de controle solar. O resultado de graus hora de resfriamento obtido para a simulação 14 (melhor desempenho) corresponde a 39% daquele obtido para a simulação 3 (pior desempenho termoenergético).

O dormitório 1 representou a maior parcela de graus hora para resfriamento em todas as simulações. O comportamento do usuário foi

um fator que contribuiu para esse resultado. Apesar de terem sido configurados com os mesmos perfis de ocupação, os dormitórios diferem-se pela quantidade de usuários, sendo dois usuários para o dormitório 1 e apenas um usuário para o dormitório 2, visto que o primeiro foi considerado como principal. Outro fator refere-se ao perímetro de paredes externas. O dormitório 2 possui duas paredes expostas ao exterior, em oposição a apenas uma para o dormitório 1. Como não foram consideradas as transferências de calor em áreas de piso e cobertura, as trocas térmicas do ambiente com seu entorno (seja com o exterior ou com um ambiente adjacente) acontecem por meio das áreas de parede e áreas envidraçadas, assim evidenciando a influência das mesmas sobre o desempenho termoenergético dos ambientes.

Os resultados do indicador de graus hora de aquecimento são apresentados para cada ambiente e para cada simulação na Figura 36.

Figura 36. Resultados de graus hora de aquecimento por ambiente.



As simulações para quais as variáveis de composição de paredes externas, absorvância solar e fator solar dos vidros foram configuradas nos níveis superiores resultaram em menores valores de graus hora de aquecimento. Dentre elas, a simulação 2 (com orientação solar Leste-Oeste) obteve o menor valor para o indicador, seguido da simulação 1 (com orientação solar Norte-Sul). Conforme visto, a envoltória com camada dupla de blocos de concreto nas paredes externas, alta absorvância solar e vidro comum representa a configuração que promove o maior

ganho de calor, contribuindo para que a temperatura interna permaneça acima do limite inferior de conforto térmico. No extremo oposto, os maiores valores de graus hora de aquecimento foram encontrados para as simulações cujas mesmas variáveis foram configuradas com os valores inferiores.

A diferença encontrada entre os resultados de graus hora de aquecimento mostra que os resultados obtidos para a simulação de melhor desempenho termoenergético (simulação 2) correspondem a 76% do valor obtido para a simulação de pior desempenho (simulação 15).

Para todas as simulações, foram verificados valores superiores de graus hora de aquecimento para o dormitório 2. Em complementação aos resultados obtidos para o indicador anterior, a menor carga térmica interna apresentada para o dormitório 2 (configurado com apenas um usuário) foi fator dominante para tal resultado.

A comparação entre os resultados verificados para os dois indicadores de desempenho da edificação mostra maior disparidade entre os valores encontrados para os três ambientes, para graus hora de resfriamento. Para os graus hora de aquecimento, os ambientes apresentaram valores similares. Para ambos os indicadores, a sala foi o ambiente com os menores valores.

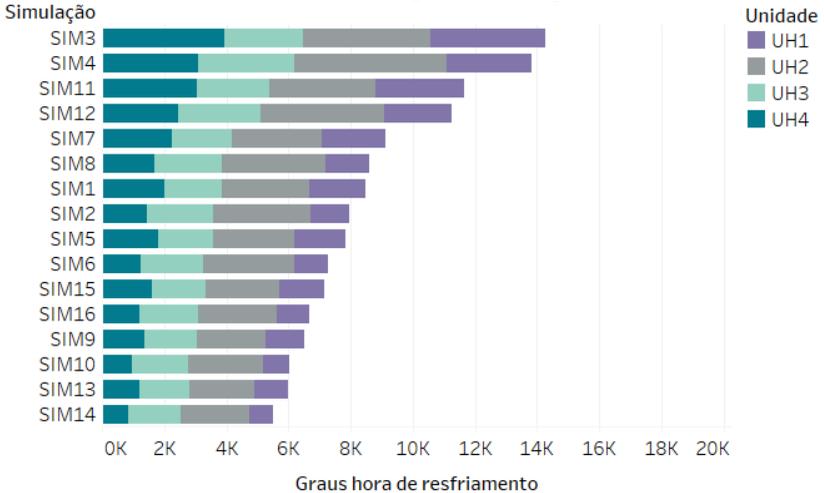
De modo geral, o pavimento tipo simulado demonstrou melhores resultados de desempenho termoenergético para o período quente, visto que o maior valor de graus de hora de resfriamento representa 74% do maior valor de graus hora de aquecimento, estando próximo do menor valor encontrado para esse último indicador. O resultado encontrado está associado a presença e operação de sistemas de ar-condicionado em quatro dos ambientes de longa permanência, distribuídos entre as unidades habitacionais que compõem o pavimento tipo simulado.

Os modos de operação dos elementos da edificação, juntamente com os perfis de ocupação alteram as cargas térmicas internas e produzem variações dos indicadores de desempenho termoenergético da edificação. Por meio da distribuição aleatória dos modos de operação para cada unidade habitacional, obteve-se uma combinação única, buscando reproduzir o comportamento do usuário em cenários reais de ocupação de uma edificação residencial multifamiliar.

Os resultados obtidos por meio das simulações computacionais são analisados em função da unidade habitacional. Essa análise foi conduzida para verificar como a variação dos perfis estocásticos de ocupação e perfis estáticos de operação dos elementos da edificação influenciaram o desempenho termoenergético de cada unidade habitacional do pavimento tipo.

A Figura 37 mostra a participação de cada unidade habitacional nos resultados de graus hora de resfriamento obtidos para as simulações computacionais do pavimento tipo.

Figura 37. Resultados de graus hora de resfriamento por unidade habitacional do pavimento tipo.



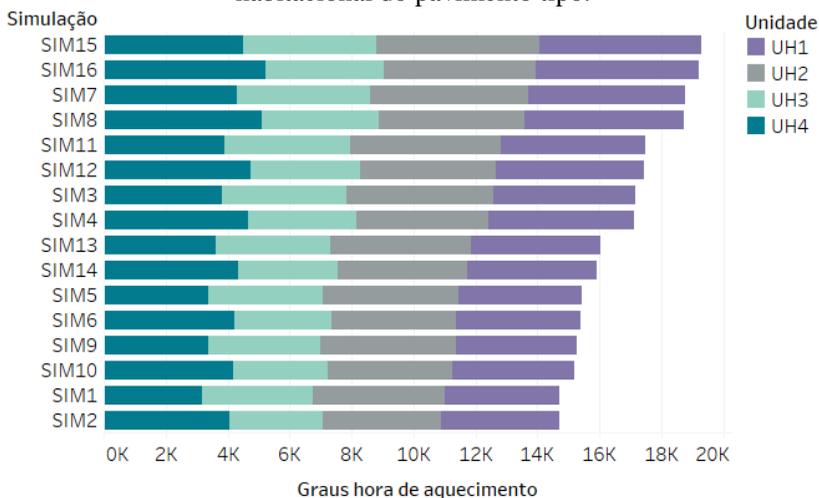
A unidade habitacional 1 apresentou os menores valores de graus hora de resfriamento para a maioria das simulações, à exceção das simulações 3, 7 e 11, para as quais a UH3 obteve os menores valores. A UH1 é caracterizada pela presença de sistema de ar-condicionado apenas na sala. As janelas e persianas dos dormitórios da UH1 são mantidas abertas somente quando há ocupação (predominantemente noturna), representando a estratégia passiva de ventilação noturna. A combinação desses dois métodos reproduziu o melhor desempenho termoenergético apesar da variação da envoltória (orientação solar, composição de paredes externas, absorvância solar e fator solar dos vidros). As simulações para as quais a UH3 foi a unidade habitacional com menor valor de graus hora de resfriamento foram configuradas com orientação solar no eixo Leste-Oeste e composição de paredes externas simples (composição 1). O comportamento do usuário configurado para essa unidade habitacional é semelhante ao observado para a UH1, diferenciando-se pela manutenção da janela dos dormitórios sempre abertas. Ao ampliar o período de abertura das janelas, possibilita-se a ventilação natural constante.

Contudo, a estratégia de ventilação natural não é benéfica ao conforto térmico quando aplicada em períodos de temperatura externa excessiva.

A unidade habitacional 2 apresentou os maiores valores de graus hora de resfriamento em todas as simulações. Essa unidade habitacional caracteriza-se pela manutenção de janela e persiana sempre abertas na sala e pela presença de sistema de ar-condicionado no dormitório principal. Frente aos resultados, observa-se que apesar da presença de sistema de ar-condicionado em um dos ambientes de longa permanência, a existência de uma estratégia de ventilação natural para os demais ambientes foi fundamental para alcançar melhores níveis de desempenho termoenergético, para o período quente.

A Figura 38 apresenta os resultados para o indicador graus hora de aquecimento, com destaque para cada unidade habitacional do pavimento tipo simulado.

Figura 38. Resultados de graus hora de aquecimento por unidade habitacional do pavimento tipo.



Os resultados para o indicador graus hora de aquecimento mostraram que a unidade habitacional 3 obteve os menores valores em dez simulações computacionais. Para as seis restantes, todas configuradas com orientação no eixo Leste-Oeste, a UH4 apresentou o melhor desempenho termoenergético para o período frio. A UH3 é caracterizada pela presença de sistema de ar-condicionado na sala, enquanto os dormitórios são mantidos somente com ventilação natural. A operação

das janelas dos dormitórios na UH3 as manteve sempre abertas e as persianas foram fechadas somente à noite. A manutenção das janelas e persianas abertas durante todo o dia não configura uma estratégia eficiente de ventilação para o período frio, visto que propicia trocas térmicas com o ambiente externo inclusive quando a temperatura do ar externo for inferior à temperatura do ar interno. Em função dessa diferença de temperatura, ocorre a redução da temperatura do ambiente interno, o que pode penalizar o desempenho térmico da edificação. Em compensação, a operação do sistema de ar-condicionado da sala foi configurada em função da temperatura, dessa forma, seu acionamento durante o período frio contribuiu para que a temperatura interna do ambiente se mantivesse dentro da faixa de conforto térmico.

A unidade habitacional 4 possui configuração inversa, com presença de sistema de ar-condicionado no dormitório (apenas dormitório principal), enquanto janela e persiana da sala foram mantidas sempre abertas. Contudo, a operação do sistema de ar-condicionado restringiu seu acionamento apenas para o verão. Para os demais períodos do ano, os dormitórios foram mantidos naturalmente ventilados, com janelas operadas apenas para renovação do ar. Ao contrário do verificado para a UH3, a operação das janelas dos dormitórios na UH4 é bastante restritiva, visando somente renovação do ar. Esse modo de operação das janelas favorece a manutenção da carga térmica interna, gerada por pessoas e equipamentos, ao restringir as trocas térmicas com o ambiente externo. Além de contribuir para que a temperatura interna permaneça por mais horas dentro da faixa de conforto térmico durante o período frio, a abertura das janelas apenas para renovar o ar busca evitar o aumento excessivo da umidade relativa interna.

Os resultados do indicador graus hora de aquecimento não demonstraram o predomínio de uma única unidade habitacional cujo desempenho termoenergético para o período frio fosse o melhor ou o pior em todas as simulações conduzidas. Nesse sentido, observou-se maior variação dos resultados, em comparação com aqueles obtidos para o indicador de graus hora de resfriamento. De modo geral, aponta-se que o desempenho das unidades habitacionais foi superior para o período quente, visto que para todas as simulações os valores de graus hora de aquecimento superaram os de graus hora de resfriamento.

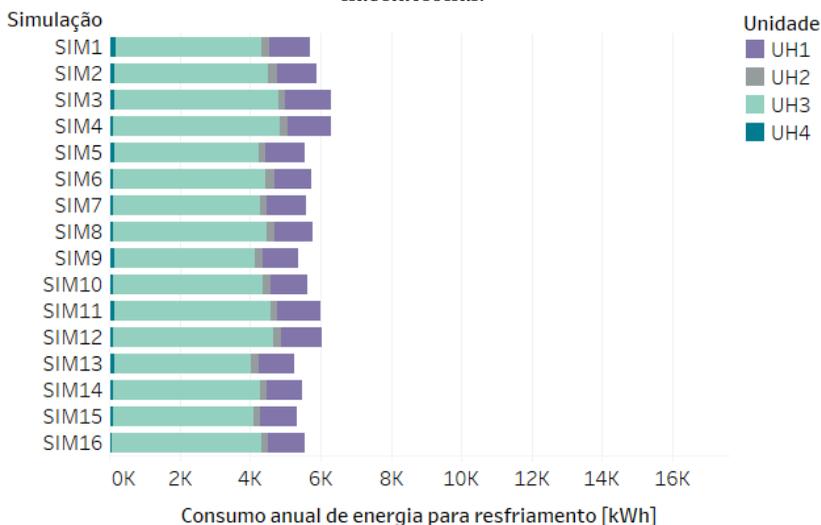
Ao analisar o desempenho termoenergético de uma edificação residencial unifamiliar em Florianópolis, Sorgato; Melo; Lamberts (2016) identificaram que a estratégia de ventilação noturna obteve melhor resultado de desempenho termoenergético, em comparação com a manutenção das janelas sempre abertas.

Os resultados para o indicador graus hora de aquecimento mostraram que a presença de sistema de ar-condicionado e sua operação inclusive no período de aquecimento não foi suficiente para que a unidade habitacional 3 obtivesse o melhor desempenho em todas as simulações.

Os resultados obtidos reiteram que o desempenho termoenergético da edificação é regido por uma combinação de fatores que incluem as características físicas e o comportamento do usuário.

A presença e operação de sistemas de ar-condicionado em alguns ambientes de longa permanência gera uma influência sobre os resultados obtidos para os indicadores graus hora de resfriamento e de aquecimento, visto que o sistema mantém a temperatura do ambiente dentro da faixa de conforto térmico durante o período em que está acionado. Portanto, foram verificados os consumos de energia desprendidos pelo sistema de ar-condicionado. A Figura 39 apresenta o consumo anual de energia para resfriamento, por unidade habitacional.

Figura 39. Consumo anual de energia para resfriamento por unidade habitacional.



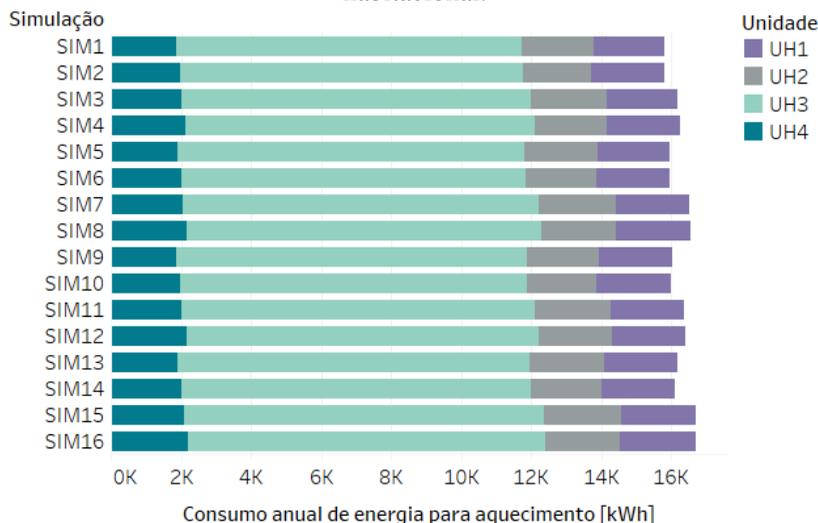
Os sistemas de ar-condicionado estão presentes em cada uma das unidades habitacionais, contudo em diferentes ambientes e com diferentes modos de operação. O maior consumo energético foi observado para a unidade habitacional 3, na qual a operação do sistema de ar-condicionado está relacionada à temperatura. Diferentemente, nas demais unidades

habitacionais, a operação do sistema de ar-condicionado foi vinculada à rotina dos usuários, reservando o acionamento a períodos específicos do dia.

Observa-se que os maiores consumos de energia para resfriamento foram encontrados para as unidades habitacionais com sistema de ar-condicionado na sala (UH1, UH3), cujos modos de operação utilizam o sistema em mais de um período do dia. Adicionalmente, o consumo de energia verificado para a UH1 representou em média 26% do consumo para a UH3, destacando a influência do modo de operação do sistema de ar-condicionado. Os consumos de energia para resfriamento referentes aos sistemas de ar-condicionado configurados nos dormitórios (UH2, UH4) foram inferiores em todas as simulações, com variação média de 60% entre os valores encontrados para essas duas unidades habitacionais. Os menores consumo de energia para resfriamento foram encontrados para a unidade habitacional 4, representando em média 3% do consumo verificado para a UH3.

O consumo energético do sistema de ar-condicionado para aquecimento é apresentado na Figura 40.

Figura 40. Consumo anual de energia para aquecimento por unidade habitacional.



O maior consumo de energia para aquecimento foi verificado para a unidade habitacional 3, caracterizada pela operação do sistema de ar-

condicionado em função da temperatura do ambiente. As demais unidades habitacionais (UH1, UH2, UH4) apresentaram consumos anuais similares, com variação de 3% entre os valores encontrados. A UH4 novamente apresentou os menores consumos, a exemplo do verificado para resfriamento. Para os resultados de consumo de energia para aquecimento, há variação de 80% entre os menores e maiores valores encontrados, respectivamente referentes às unidades habitacionais 4 e 3.

Os resultados de consumo energético para aquecimento foram superiores aos observados para resfriamento, em função das temperaturas de acionamento configuradas. Foram utilizadas as temperaturas de 24°C para resfriamento e de 18°C para aquecimento. Pondera-se que o uso do sistema de ar-condicionado para aquecimento pode ter sido representado de maneira superdimensionada, em vista de que para o período frio, o usuário pode recorrer à ajustes de isolamento da vestimenta precedentes ao acionamento do sistema de ar-condicionado. Essa configuração da temperatura de acionamento gerou consumo anual de energia excessivo.

Para as unidades habitacionais configuradas com sistema de ar-condicionado nos dormitórios (UH2, UH4) o consumo anual de energia para resfriamento representou em média 8% do consumo anual para aquecimento. O acionamento do sistema nessas unidades restringiu-se ao período noturno, para o qual são observadas temperaturas externas mais amenas, em comparação com os demais períodos do dia. Esse modo de operação favoreceu para a redução do consumo de energia para resfriamento, concomitantemente ao aumento do consumo energético para a função de aquecimento. Para as unidades habitacionais cujos sistemas de ar-condicionado estão presentes nas salas (UH1, UH3), o consumo de energia para resfriamento representou cerca de 48% daquele para aquecimento. Diferentemente do verificado nos dormitórios, o acionamento do sistema nos ambientes de sala não ficou restrito a um período do dia.

4.3.5 Verificação do modelo estocástico de ocupação

A verificação dos perfis estocásticos de ocupação foi conduzida por meio de um conjunto de simulações computacionais com a variação do perfil estocástico de ocupação utilizado para configurar todas as unidades habitacionais. Todas as demais configurações do modelo computacional foram mantidas constantes. A verificação proposta busca comparar os resultados dos indicadores de desempenho termoenergético obtidos para cada perfil estocástico de ocupação.

As operações dos elementos da edificação foram configuradas utilizando perfis estáticos que descrevem os modos de operação que obtiveram maior percentual de respostas, de acordo com a base de dados monitorados. As operações de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas são apresentadas no Quadro 2.

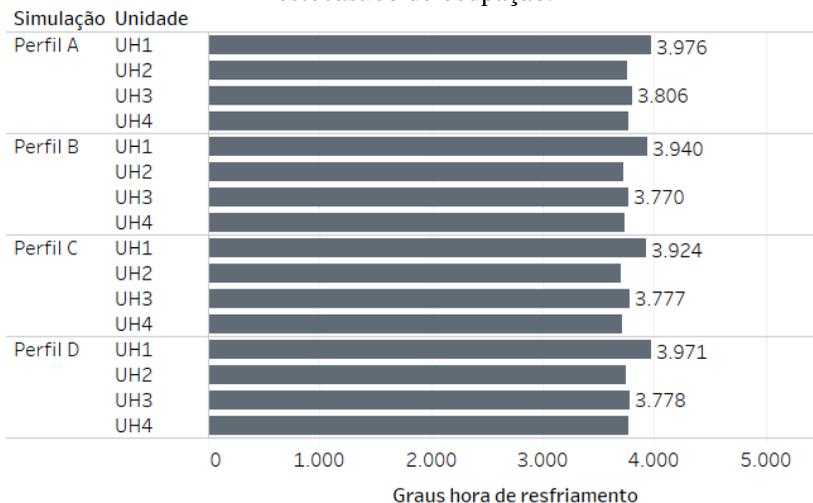
Quadro 2. Operações dos elementos da edificação.

Ambiente	Operação do sistema de ar-condicionado	Operação de persianas	Operação de janelas
Sala	Acionamento em mais de um período do dia	Fechada somente à noite	Aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar
Dormitório	Inexistente	Fechada somente à noite	Aberta somente quando estou no ambiente

Foram conduzidas quatro simulações computacionais e para cada uma foi utilizado um perfil estocástico de ocupação na sala e no dormitório, os quais foram configurados para todas as unidades habitacionais. Os perfis utilizados para as simulações correspondem àqueles apresentados nas Figuras 27 a 30. As simulações foram nomeadas em função do perfil de ocupação utilizado, e.g., na simulação “A” foi utilizado o perfil estocástico de ocupação “A”, conforme apresentado nas Figuras 27 a 30.

A Figura 41 apresenta os resultados para o indicador graus hora de resfriamento obtidos com a variação dos perfis estocásticos de ocupação.

Figura 41. Resultados de graus hora de resfriamento para cada perfil estocástico de ocupação.



Para todas as simulações, os menores valores de graus hora de resfriamento foram obtidos para a UH2. A orientação solar dessa unidade habitacional foi fator fundamental para tal resultado. A orientação solar da sala para Leste combinada à operação das janelas e persianas desse ambiente mantidas sempre abertas configurou uma ventilação natural constante no ambiente, contudo restringindo o período em que tal parcela da envoltória recebe radiação solar direta. A orientação solar da UH2 garante que grande parte de sua envoltória receba radiação solar direta apenas no período da manhã, quando a temperatura do ar externo ainda não atingiu seu pico. Além disso, duas paredes externas dos dormitórios têm orientação Sul, portanto predominantemente protegidas de radiação solar direta. Para o período quente, a orientação solar da UH2 contribuiu em grande parte para a manutenção da temperatura interna dentro da faixa de conforto térmico. Apesar do melhor desempenho termoenergético verificado para a UH2, houve variação de apenas 6% entre os valores mínimo e máximo encontrados para o indicador de graus hora de resfriamento. Houve pouca variação entre os resultados obtidos com a variação dos perfis de ocupação.

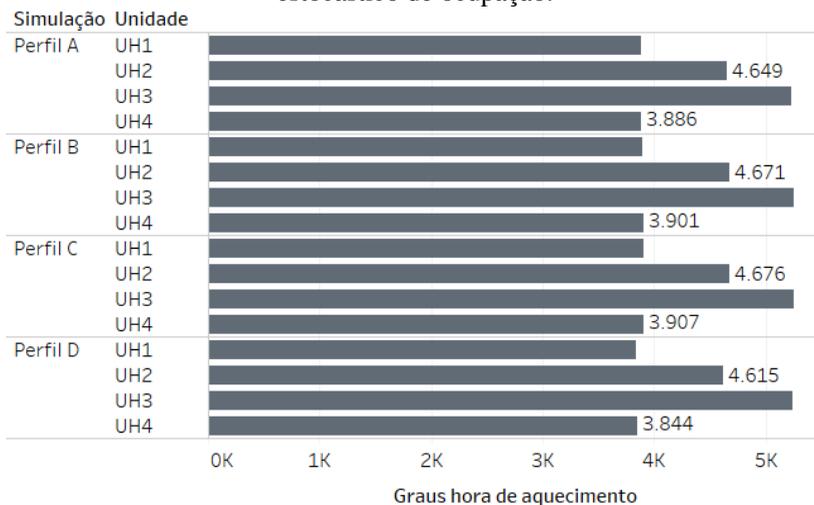
Os resultados obtidos para o perfil C de ocupação apresentaram os menores valores de graus hora para as unidades habitacionais 1, 2 e 4. Para a UH3, o perfil que resultou em menor valor desse indicador foi o B. O perfil C caracteriza-se por poucas horas de ocupação na sala (5 horas

para dias úteis e 10 horas para dias de final de semana), distribuídas predominantemente pela manhã e à noite. Em comparação com os demais perfis, o perfil C diferencia-se pela ocupação do dormitório com a menor quantidade de horas ocupadas em dias úteis (10 horas) e a maior quantidade de horas ocupadas em dias de final de semana (17 horas). A menor ocupação dos dormitórios durante os dias úteis resulta em menor carga térmica interna, a qual contribuiu para o melhor resultado referente ao indicador de desempenho termoenergético.

Ao analisar os resultados totais de graus hora de resfriamento para o pavimento tipo houve variação de apenas 2% entre o menor e o maior valor obtido (perfil C e perfil A, respectivamente).

Os resultados obtidos para o indicador graus hora de aquecimento com variação dos perfis estocásticos de ocupação são apresentados na Figura 42.

Figura 42. Resultados de graus hora de aquecimento cada perfil estocástico de ocupação.



Os resultados de graus hora de aquecimento mostraram valores bem próximos (variação inferior a 1%) para as unidades habitacionais 1 e 4, em todas as simulações. Contudo a UH1 obteve os menores valores para esse indicador. Essas duas unidades habitacionais possuem a maior área de fachada orientada para Norte, o que potencializa o ganho de calor por meio de radiação solar direta. Em contrapartida, as unidades

habitacionais cujas fachadas dos dormitórios possuem orientação solar Sul obtiveram maiores valores de graus hora de aquecimento.

O perfil de melhor desempenho termoenergético para o período frio foi o D, caracterizado pela maior distribuição das horas ocupadas ao longo do dia. Essa maior variação do estado de ocupação propicia que a carga térmica interna gerada pela presença do usuário seja distribuída em todos os períodos do dia. O perfil D ainda apresenta a maior quantidade de horas de ocupação para a sala (12 horas para dias úteis). Em vista da operação de janela e persiana da sala serem mantidas sempre abertas, a ocupação desse ambiente por mais horas do dia, e sua consequente carga térmica, contribuíram para que a temperatura interna permanecesse dentro da faixa de conforto térmico.

Ao comparar os resultados totais de graus hora de aquecimento para o pavimento tipo, observa-se que houve pouca variação, a exemplo do verificado para o indicador anterior. O perfil de melhor desempenho para o período frio (perfil D) corresponde a 99% do maior valor de graus hora de aquecimento obtido (perfil A). Em contraste, a comparação dos resultados por unidade habitacional demonstrou variação de até 27% entre as unidades 1 e 3, para o perfil D.

A verificação dos perfis estocásticos de ocupação foi conduzida para analisar a reprodução do comportamento do usuário e a concordância entre os resultados obtidos. Todos os perfis configurados foram obtidos por meio da simulação do modelo estocástico de ocupação, o qual busca reproduzir comportamentos reais do usuário com base nos dados monitorados. A pouca variação (de até 2%) verificada para os resultados das simulações ao variar os perfis estocástico de ocupação demonstra que apesar de diferentes, os perfis reproduziram as principais características e tendências do comportamento do usuário monitorado. Os resultados obtidos para essa verificação reforçam que o modelo estocástico de ocupação teve sucesso ao reproduzir o comportamento do usuário e, adicionalmente, representar a aleatoriedade do usuário real.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho analisou a influência do comportamento do usuário combinado a variáveis da envoltória no desempenho termoenergético de edificações residenciais multifamiliares. A pesquisa apresentou o monitoramento do comportamento do usuário, o desenvolvimento de modelo estocástico de ocupação e a aplicação desse modelo em simulações computacionais utilizando como objeto de estudo o pavimento tipo de uma edificação residencial multifamiliar de Florianópolis – SC.

A análise da base de dados sobre o comportamento do usuário mostrou que a maior parcela dos ambientes de longa permanência possui algum sistema de condicionamento artificial (57%), sendo a maior presença verificada para os dormitórios (71%). O split de ciclo reverso foi o tipo de sistema de ar-condicionado com maior frequência (34%).

O uso de variáveis explicativas do comportamento do usuário no questionário foi fundamental para o monitoramento, visto que a partir das variáveis o respondente teve maior facilidade em identificar como ocorre a sua interação com o ambiente construído. A vinculação do comportamento do usuário a variáveis explicativas temporais, de temperatura ou até mesmo a outra ação do usuário, foi posteriormente explorada para o desenvolvimento de um modelo estocástico.

Os resultados referentes à operação de persianas mostraram que esse elemento possui funções diferentes de acordo com o ambiente. Nas salas, as persianas são mantidas sempre abertas, de acordo com as respostas obtidas. Nos dormitórios, a operação de persiana mais frequente apontou para o seu fechamento somente à noite, visando privacidade e controle da luminosidade. Em ambos os ambientes, a operação da persiana demonstrou maior relação com o conforto visual do usuário. As alternativas de operação da persiana com maior frequência de respostas convergem com os motivos pelos quais os usuários indicaram abrir ou fechar tal elemento da envoltória – aproveitar a luz natural e privacidade.

A operação do sistema de ar-condicionado mostrou predomínio da variável explicativa de temperatura, para as salas e temporal, para os dormitórios. Para o primeiro ambiente, foi observada maior frequência da operação “Desligo após um curto período ligado, quando a temperatura do ambiente está agradável” e para os dormitórios, o acionamento mais frequente do sistema de ar-condicionado selecionado pelos respondentes foi “Usando somente no verão, durante o período noturno”.

A operação de janelas mostrou predomínio de operações mais restritivas, tais como “Aberta somente quando estou no ambiente” e

“Aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar”. Uma operação de janelas alternativa preenchida pelos respondentes dentro do campo “Outro” apresentou significativa quantidade de respostas, mostrando que a opção “Aberta durante o dia, fechada à noite” deveria ser incluída no questionário.

O comportamento mais restritivo quanto à operação de janelas, em comparação com a operação de persianas está em concordância com a maior influência desse elemento sobre as condições do ambiente interno, indicando para um conhecimento empírico por parte dos moradores.

A operação de janelas em função da altura do pavimento não apresentou predomínio de um único modo de operação. A tendência observada mostrou maior frequência de janelas mantidas sempre abertas para unidade habitacionais de até dois pavimentos.

Os totais de horas de ocupação apontaram para a existência de perfis distintos dentro da base de dados, mostrando que os usuários ocupam os ambientes com variações de horários e de duração do estado de ocupação. Contudo, foram verificadas tendências gerais, principalmente quanto ao período do dia com maior presença de usuários.

O modelo estocástico de ocupação desenvolvido por meio de cadeias de Markov de primeira ordem teve por objetivo prever o estado de ocupação no passo de tempo futuro. Os perfis gerados com o modelo demonstram reproduzir as tendências verificadas para o comportamento monitorado. Para a sala, os perfis reproduziram a principal transição do estado de ocupação que ocorre no início da noite quando os usuários entram no ambiente, o qual passa a ser ocupado por algumas horas. A duração dessa ocupação, no entanto, variou para cada perfil demonstrando a diversidade encontrada nos dados monitorados. Quanto ao total de horas ocupadas, os perfis para a sala excederam os valores encontrados para a base de dados. Os perfis estocásticos obtidos para os dormitórios apresentaram convergência quanto ao total diário de horas de ocupação com os dados monitorados. Para os horários em que os dados monitorados apresentaram grande variedade de respostas, os perfis estocásticos reproduziram grande variação do estado de ocupação. Em oposição, para os períodos em que há consenso entre os respondentes, os perfis estocásticos mantiveram um estado de ocupação constante.

A comparação entre os perfis obtidos por meio do percentual de usuário presentes e a probabilidade de presença no passo de tempo futuro mostrou que ambos reproduziram as mesmas tendências. Contudo, o perfil obtido com a probabilidade de presença no passo de tempo futuro demonstrou valores superiores e atraso de uma hora nas transições de estado de ocupação, para o dormitório.

A aplicação do modelo estocástico de ocupação por meio de simulações computacionais demandou a definição de um objeto de estudo. Buscou-se manter a congruência com os dados monitorados ao selecionar por meio de análise de agrupamento uma unidade habitacional representativa. Desse modo, o objeto de estudo configurou o pavimento tipo de uma edificação residencial multifamiliar construída e em uso, em Florianópolis.

O planejamento das simulações com o projeto de experimentos garantiu que todas as combinações entre variáveis da envoltória e seus níveis fossem consideradas. Os resultados dos efeitos principais e efeitos de combinação foram utilizados para analisar a influência de cada variável de estudo sobre as variáveis respostas de graus hora de resfriamento e aquecimento.

A composição de paredes externas foi a variável de maior influência sobre ambos os indicadores de desempenho termoenergético. Os efeitos de combinação apresentaram valores baixos, indicando que a influência de cada variável de estudo independe do nível das demais.

O comportamento do usuário foi configurado em cada unidade habitacional com a distribuição aleatória dos modos mais frequentes obtidos para operação de sistema de ar-condicionado, janelas e persianas. Essa distribuição garantiu uma combinação única, semelhante a que ocorre em cenários reais de uso da edificação.

As unidades habitacionais com melhor desempenho termoenergético foram aquelas em que o comportamento do usuário representou uma estratégia passiva. Por exemplo, a ventilação noturna em dormitórios resultou em menores valores de graus hora de resfriamento. A presença de sistema de ar-condicionado e sua operação influenciaram os valores obtidos para os indicadores. Os menores valores para os indicadores graus hora de resfriamento e aquecimento foram verificados para unidades habitacionais nas quais a configuração do comportamento do usuário foi estratégica de forma a combinar as operações dos elementos da edificação. De modo geral, o aspecto do comportamento do usuário de maior destaque para o desempenho termoenergético da edificação foi a operação das janelas compondo uma estratégia de ventilação.

A verificação dos perfis estocásticos de ocupação demonstrou variação de até 2% entre os resultados dos indicadores de desempenho, ao modificar o perfil de ocupação de todas as unidades habitacionais do pavimento tipo. Esse resultado demonstra que os perfis, apesar de distintos, mantêm relação com os dados monitorados. Os perfis obtidos por meio do modelo estocástico de ocupação variam em relação aos

horários e à duração de cada estado, contudo, reproduzem as mesmas tendências, principalmente referentes às transições entre os estados de ocupação.

O potencial de aplicação do modelo estocástico desenvolvido estende-se a simulações com diversos objetivos. O modelo estocástico é uma ferramenta para configurar o comportamento do usuário de forma mais precisa, para as simulações computacionais. Os perfis estocásticos gerados com o modelo representam uma alternativa aos perfis estáticos, amplamente utilizados nas simulações. Contudo, o aprimoramento da precisão quanto aos dados de comportamento do usuário não cria complexidade excessiva do modelo computacional.

O modelo estocástico desenvolvido com base em dados de monitoramento possui relação com fatores contextuais, tais como a cultura, o clima, tipo e função da edificação. A aplicação do modelo estocástico deve ser conduzida dentro desse mesmo contexto, para que os resultados obtidos reproduzam o comportamento do usuário com maior precisão, mantendo relação com esse conjunto de informações implícitas aos dados monitorados.

O cerne do ineditismo deste trabalho é o desenvolvimento de um método de modelo estocástico de ocupação. Durante o processo, foram desenvolvidas outras etapas inéditas, tais como o monitoramento do comportamento do usuário em edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis. Os resultados obtidos e as ferramentas desenvolvidas contribuem para o avanço dos estudos sobre o desempenho termoenergético em edificações residenciais multifamiliares. A base de dados e o modelo estocástico de ocupação permitem caracterizar o comportamento do usuário similarmente ao verificado em edificações em uso, com especificidade em relação à tipologia de edificação e à amostra de população.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho limitou-se a edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis – SC. A criação da base de dados do comportamento do usuário e subsequente desenvolvimento do modelo estocástico limitaram-se a quantidade de respostas obtidas por meio da aplicação do questionário online. Ao utilizar um método de monitoramento do comportamento do usuário baseado em dados autorreportados, a base de dados resultantes apresenta incertezas relacionadas à subjetividade do respondente, principalmente no tocante à memória.

O questionário desenvolvido para monitorar o comportamento do usuário não levantou dados sobre as edificações que auxiliariam a compreensão dos resultados obtidos para operação de janelas e persianas, tais como orientação solar, presença de sacada ou de elemento externo de sombreamento.

O questionário abordou o comportamento do usuário em vista do conforto térmico e visual do respondente. Não foram abordados os aspectos relativos ao conforto acústico, ainda que esse possa ter influência principalmente sobre as operações de janelas.

O comportamento do usuário foi estudado em sistema binário. Desse modo, não foram consideradas aberturas parciais de janelas e persianas, tampouco variações do estado de ocupação.

A aplicação do modelo estocástico de ocupação foi limitada ao pavimento tipo da edificação residencial multifamiliar, portanto desconsiderando transferência de calor através das superfícies de piso e cobertura. As simulações computacionais não consideraram a influência do entorno, ainda que o objeto de estudo esteja implantando em espaço urbano. A distribuição dos modos de operação dos elementos da edificação restringiu-se pela quantidade de unidades habitacionais do pavimento tipo, assim, somente as operações com maior frequência de respostas foram simuladas.

O modelo estocástico restringiu-se à ocupação dos ambientes de longa permanência. As operações de sistema de ar-condicionado, persianas e janelas foram configuradas nas simulações computacionais conforme perfil estático.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros relacionados ao tema, sugere-se:

- Comparar os perfis estocásticos de ocupação obtidos para diferentes climas brasileiros a partir da aplicação do método desenvolvido;
- Desenvolver um modelo estocástico para as operações de janelas, persianas e sistema de ar-condicionado baseado em dados de monitoramento adaptativo do comportamento do usuário;
- Verificar a precisão do modelo estocástico de comportamento do usuário ao comparar resultados simulados com dados de monitoramento;

- Analisar a influência do comportamento do usuário relacionado à operação de janelas e persianas sobre o conforto lumínico.

REFERÊNCIAS

- AERTS, D. et al. A method for the identification and modelling of realistic domestic occupancy sequences for building energy demand simulations and peer comparison. **Building and Environment**, [s. l.], v. 75, p. 67–78, 2014.
- AERTS, D. **Occupancy and activity modelling for building energy demand simulations, comparative feedback and residential electricity demand characterisation**. 2015. 255 f. Thesis (Doctoral in Engineering) – Vrije Universiteit Brussel, Brussel, 2015.
- AN, J. et al. A novel stochastic modeling method to simulate cooling loads in residential districts. **Applied Energy**, [s. l.], v. 206, n. July, p. 134–149, 2017.
- ANDERSEN, Philip Delff et al. Dynamic modeling of presence of occupants using inhomogeneous Markov chains. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 69, p. 213–223, 2014.
- ANDERSEN, Rune et al. Window opening behaviour modelled from measurements in Danish dwellings. **Building and Environment**, [s. l.], v. 69, p. 101–113, 2013.
- ANDERSEN, Rune K.; FABI, Valentina; CORGNATI, Stefano P. Predicted and actual indoor environmental quality: Verification of occupants' behaviour models in residential buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 127, p. 105–115, 2016.
- ANDERSEN, Rune Vinther et al. Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 11–16, 2009.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. 2005 **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT a. NBR 15220-2: Desempenho Térmico para Edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT b. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

- ASTE, N.; ANGELOTTI, A.; BUZZETTI, M. The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings. *Energy and Buildings*, v. 41, n. 11, p. 1181–1187, 2009.
- BALVEDI, B. F.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. A review of occupant behaviour in residential buildings. *Energy and Buildings*, v. 174, p. 495-505, 2018.
- BALVEDI, B. F. et al. Identificação de perfis de comportamento do usuário para edificações residenciais multifamiliares e naturalmente ventiladas em Florianópolis. *Ambiente Construído (Online)*, v. 18, p. 149-160, 2018.
- BĂLAN, Radu et al. Parameter identification and model based predictive control of temperature inside a house. *Energy and Buildings*, [s. l.], v. 43, n. 2–3, p. 748–758, 2011.
- BARTHELMES, Verena M. et al. Occupant behaviour lifestyles and effects on building energy use: Investigation on high and low performing building features. *Energy Procedia*, [s. l.], v. 140, p. 93–101, 2017.
- BLIGHT, Thomas S.; COLEY, David A. Sensitivity analysis of the effect of occupant behaviour on the energy consumption of passive house dwellings. *Energy and Buildings*, [s. l.], v. 66, p. 183–192, 2013.
- BONTE, Mathieu; THELLIER, Françoise; LARTIGUE, Béragère. Impact of occupant’s actions on energy building performance and thermal sensation. *Energy and Buildings*, [s. l.], v. 76, p. 219–227, 2014.
- BOX, Geoge E. P.; HUNTER, J. Stuart; HUNTER, William G. **Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery**. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- BRE, Facundo et al. Residential building design optimisation using sensitivity analysis and genetic algorithm. *Energy and Buildings*, [s. l.], v. 133, p. 853–866, 2016.
- CALÌ, Davide et al. CO2 based occupancy detection algorithm: Experimental analysis and validation for office and residential buildings. *Building and Environment*, [s. l.], v. 86, p. 39–49, 2015.
- CALÌ, Davide et al. Analysis of occupants’ behavior related to the use of windows in German households. *Building and Environment*, [s. l.], v. 103, p. 54–69, 2016.
- CARLUCCI, Salvatore et al. The effect of spatial and temporal randomness of stochastically generated occupancy schedules on the energy performance of a multiresidential building. *Energy and*

- Buildings**, [s. l.], v. 127, p. 279–300, 2016.
- CARPINO, Cristina et al. Behavioral variables and occupancy patterns in the design and modeling of Nearly Zero Energy Buildings. **Building Simulation**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 875–888, 2017.
- CHEN, Shuqin et al. Definition of occupant behavior in residential buildings and its application to behavior analysis in case studies. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 104, p. 1–13, 2015.
- CHIOU, Yun-Shang et al. A high spatial resolution residential energy model based on American Time Use Survey data and the bootstrap sampling method. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 43, n. 12, p. 3528–3538, 2011.
- CHUA, K. J.; CHOU, S. K. Energy performance of residential buildings in Singapore. **Energy**, v. 35, n. 2, p. 667–678, 2010.
- CICELSKY, A.; MEIR, I. A. Parametric analysis of environmentally responsive strategies for building envelopes specific for hot hyperarid regions. **Sustainable Cities and Society**, 2014.
- CUERDA, E.; GONZÁLEZ, F. J. Neila. Defining occupancy patterns through monitoring existing buildings. **Informes de la Construcción**, [s. l.], v. 69, p. 1–10, 2017.
- D’OCA, Simona et al. Effect of thermostat and window opening occupant behavior models on energy use in homes. **Building Simulation**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 683–694, 2014.
- D’OCA, Simona; HONG, Tianzhen; LANGEVIN, Jared. The human dimensions of energy use in buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 81, n. August 2017, p. 731–742, 2018.
- DANIEL, Lyrian; SOEBARTO, Veronica; WILLIAMSON, Terence. House energy rating schemes and low energy dwellings: The impact of occupant behaviours in Australia. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 88, p. 34–44, 2015.
- DE MEESTER, Tatiana et al. Impacts of occupant behaviours on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 57, p. 313–323, 2013.
- DIAO, Longquan et al. Modeling energy consumption in residential buildings: A bottom-up analysis based on occupant behavior pattern clustering and stochastic simulation. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 147, p. 47–66, 2017.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balço Energético Nacional 2018**: Ano base 2017. Rio de Janeiro, 2018.

- ENERGYPLUS. Energy Simulation Software. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 15 dez. 2017.
- 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**, [s. l.], v. 31, n. 5, p. 677–693, 2006.
- EVINS, Ralph et al. A case study exploring regulated energy use in domestic buildings using design-of-experiments and multi-objective optimisation. **Building and Environment**, [s. l.], v. 54, p. 126–136, 2012.
- FABI, Valentina et al. A methodology for modelling energy-related human behaviour: Application to window opening behaviour in residential buildings. **Building Simulation**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 415–427, 2013.
- FABI, Valentina et al. Validation of Occupants ’ Behaviour Models for Indoor Quality Parameter and Energy Consumption Prediction. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 121, p. 1805–1811, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.160>>
- FABI, Valentina; ANDERSEN, Rune Korsholm; CORGNATI, Stefano. Verification of stochastic behavioural models of occupants’ interactions with windows in residential buildings. **Building and Environment**, [s. l.], v. 94, p. 371–383, 2015.
- FENG, Xiaohang et al. A preliminary research on the derivation of typical occupant behavior based on large-scale questionnaire surveys. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 117, 2015.
- FENG, Xiaohang; YAN, Da; WANG, Chuang. Classification of occupant air-conditioning behavior patterns. **Proceedings of BS2015**, [s. l.], p. 1516–1522, 2015.
- GAETANI, Isabella; HOES, Pieter-Jan; HENSEN, Jan L. M. Occupant behavior in building energy simulation: towards a fit-for-purpose modeling strategy. **Energy and Buildings**, [s. l.], 2016.
- GALLAGER, Robert G. **Stochastic processes: theory for applications**. New York: Cambridge University Press, 2013.
- GHISI, E.; MASSIGNANI, R. F. Thermal performance of bedrooms in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 730–742, 2007.
- GILANI, Sara; O’BRIEN, William. Review of current methods, opportunities, and challenges for in-situ monitoring to support occupant modelling in office spaces. **Journal of Building Performance Simulation**, [s. l.], v. 1493, n. July, p. 1–27, 2016.

- GOSSARD, D.; LARTIGUE, B.; THELLIER, F. Multi-objective optimization of a building envelope for thermal performance using genetic algorithms and artificial neural network. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 67, p. 253–260, 2013.
- GUERRA-SANTIN, Olivia. Behavioural Patterns and User Profiles related to energy consumption for heating. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 43, n. 10, p. 2662–2672, 2011.
- GUERRA-SANTIN, O. et al. Mixed methods approach to determine occupants' behaviour – Analysis of two case studies. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 130, p. 546–566, 2016.
- GUERRA-SANTIN, O. et al. Considering user profiles and occupants' behaviour on a zero energy renovation strategy for multi-family housing in the Netherlands. **Energy Efficiency**, [s. l.], 2018.
- GUERRA-SANTIN, Olivia; TWEED, Christopher Aidan. In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 93, p. 189–207, 2015.
- HALDI, Frédéric et al. Modelling diversity in building occupant behaviour: a novel statistical approach. **Journal of Building Performance Simulation**, [s. l.], v. 1493, n. January, p. 1–18, 2016.
- HALDI, Frédéric; ROBINSON, Darren. Interactions with window openings by office occupants. **Building and Environment**, [s. l.], v. 44, n. 12, p. 2378–2395, 2009.
- HAIR, J. F. et al. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HERMES, Christian Johann Losso. **Uma metodologia para a simulação transiente de refrigeradores domésticos**. 2006. 297 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- HONG, Jing; RASHED-ALI, Hazem. Analysis of residential energy consumption characteristics: a comparative study between two cities in China and the U.S. **AEI 2013: Building Solutions for Architectural Engineering**, [s. l.], p. 804–816, 2013.
- HONG, Tianzhen et al. Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 116, p. 694–702, 2015.
- HONG, Tianzhen et al. Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture. **Building and Environment**, [s. l.], v. 114, p. 518–530, 2016.
- INVIDIATA, Andrea; LAVAGNA, Monica; GHISI, Enedir. Selecting design strategies using multi-criteria decision making to improve

- the sustainability of buildings. **Building and Environment**, [s. l.], v. 139, n. November 2017, p. 58–68, 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ- R)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Portaria n. 18.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY ENERGY IN BUILDINGS AND COMMUNITIES PROGRAM. Occupants Behavior Research Bibliography. Disponível em: <<http://www.annex66.org/?q=biblio>>. Acesso em: 15 dez. 2017.
- INYIM, Peeraya et al. Integration of Video Image Processing and BIM-based Energy Simulation for Analyzing the Impact of Dynamic User Patterns on Building Energy Consumption. **ICCREM 2014: Smart Construction and Management in the Context of New Technology**, [s. l.], p. 526–534, 2014.
- IOANNOU, A.; ITARD, L. C. M. Energy Performance and comfort in residential buildings: Sensitivity for building parameters and occupancy. **Energy and Buildings**, 2015. Elsevier B.V.
- JAFFAL, Issa; INARD, Christian; GHIAUS, Christian. Fast method to predict building heating demand based on the design of experiments. *Energy and Buildings*, [s. l.], v. 41, n. 6, p. 669–677, 2009.
- JANG, Hyunju; KANG, Jian. A stochastic model of integrating occupant behaviour into energy simulation with respect to actual energy consumption in high-rise apartment buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], 2016.
- JEONG, Bongchan; JEONG, Jae Weon; PARK, J. S. Occupant behavior regarding the manual control of windows in residential buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 127, p. 206–216, 2016.
- JIA, Mengda; SRINIVASAN, Ravi S.; RAHEEM, Adeeba A. From occupancy to occupant behavior: An analytical survey of data acquisition technologies, modeling methodologies and simulation coupling mechanisms for building energy efficiency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 68, n. October 2016, p. 525–540, 2017.
- JOHNSON, Brandon J. et al. A method for modeling household occupant behavior to simulate residential energy consumption. **2014 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT 2014**, [s. l.], p. 1–5, 2014.
- JONES, Rory V. et al. Stochastic behavioural models of occupants' main bedroom window operation for UK residential buildings. **Building**

- and Environment**, [s. l.], v. 118, p. 144–158, 2017.
- KOLAITIS, Dionysios I. et al. Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 64, p. 123–131, 2013.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Arquivos Climáticos. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- LIPING, W.; HIEN, W. N.; SHUO, L. Facade design optimization for naturally ventilated residential buildings in Singapore. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 8, p. 954–961, 2007.
- MATH WORKS. Matlab (R2013a, Version 8.1.0.604), Software. 2013.
- MAVROGIANNI, A. et al. The impact of occupancy patterns, occupant-controlled ventilation and shading on indoor overheating risk in domestic environments. **Building and Environment**, [s. l.], v. 78, p. 183–198, 2014.
- MINITAB INC. Minitab (Version 17.1.0.0), Software. 2013. Disponível em: <<http://www.minitab.com>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- MORA, Dafni; CARPINO, Cristina; DE SIMONE, Marilena. Energy consumption of residential buildings and occupancy profiles. A case study in Mediterranean climatic conditions. **Energy Efficiency**, [s. l.], p. 1–25, 2017.
- MORISHITA, C. *et al.* Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, v. 5, 2011.
- NIKOOFARD, S.; ISMET UGURSAL, V.; BEAUSOLEIL-MORRISON, I. Technoeconomic assessment of the impact of window shading retrofits on the heating and cooling energy consumption and GHG emissions of the Canadian housing stock. **Energy and Buildings**, v. 69, p. 354–366, 2014.
- NGUYEN, A. T.; REITER, S. An investigation on thermal performance of a low cost apartment in hot humid climate of Danang. **Energy and Buildings**, v. 47, p. 237–246, 2012. Elsevier B.V.
- PENG, Chen et al. Quantitative description and simulation of human behavior in residential buildings. **Building Simulation**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 85–94, 2011.
- PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p. 3391–3399, 2011.
- PINO, Felipe Encinas; DE HERDE, André. Definition of occupant

- behaviour patterns with respect to ventilation for apartments from the real estate market in Santiago de Chile. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 38–44, 2011.
- PISELLO, Anna Laura; ASDRUBALI, Francesco. Human-based energy retrofits in residential buildings: A cost-effective alternative to traditional physical strategies. **Applied Energy**, [s. l.], v. 133, p. 224–235, 2014.
- RICHARDSON, I. **Integrated High-resolution Modelling of Domestic Electricity Demand and Low Voltage Electricity Distribution Networks**. 2010. 221 f. Thesis (Doctoral in Engineering) – Loughborough University, Loughborough, UK, 2010.
- RICHARDSON, Ian; THOMSON, Murray; INFIELD, David. A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 40, n. 8, p. 1560–1566, 2008.
- ROETZEL, Astrid. Occupant behaviour simulation for cellular offices in early design stages—Architectural and modelling considerations. **Building Simulation**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 211–224, 2015.
- SADEGHIFAM, Aidin Nobahar et al. Combined use of design of experiment and dynamic building simulation in assessment of energy efficiency in tropical residential buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 86, p. 525–533, 2015.
- SHIMODA, Yoshiyuki et al. Evaluation of city-scale impact of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model. **Energy**, [s. l.], v. 32, n. 9, p. 1617–1633, 2007.
- SILVA, Arthur Santos; GHISI, Enedir. Uncertainty analysis of user behaviour and physical parameters in residential building performance simulation. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 76, p. 381–391, 2014.
- SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 133, p. 1–13, 2016.
- SILVA, Diogo Lôndero da. **Análise teórico-experimental da expansão transcritical de dióxido de carbono em tubos capilares adiabáticos**. 2008. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- SORGATO, M. J. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. Florianópolis, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –

- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- STAZI, Francesca; NASPI, Federica; D'ORAZIO, Marco. A literature review on driving factors and contextual events influencing occupants' behaviours in buildings. **Building and Environment**, [s. l.], v. 118, p. 40–66, 2017.
- TANIGUCHI, Ayako et al. Estimation of the contribution of the residential sector to summer peak demand reduction in Japan using an energy end-use simulation model. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 112, p. 80–92, 2016.
- VAN DEN WYMELENBERG, Kevin. Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 51, p. 165–176, 2012.
- TALEB, H. M. Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in U.A.E. buildings. **Frontiers of Architectural Research**, v. 3, n. 2, p. 154–165, 2014.
- TERÉS-ZUBIAGA, J.; MARTÍN, K.; ERKOREKA, A.; SALA, J. M. Field assessment of thermal behaviour of social housing apartments in Bilbao, Northern Spain. **Energy and Buildings**, v. 67, p. 118–135, 2013.
- VERSAGE, R. de S. **Ventilação Natural e Desempenho Térmico de Edifícios Verticais Multifamiliares em Campo Grande, MS**. Florianópolis, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- VERSAGE, R. de S. **Metamodelo para estimar a carga térmica de edificações condicionadas artificialmente**. Florianópolis, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- WAGNER, Andreas; O'BRIEN, William; DONG, Bing. **Exploring Occupant Behavior in Buildings**. [s.l.: s.n.].
- WANG, Zhe et al. Residential Heating Energy Consumption Modelling through a Bottom-up Approach for China's Hot Summer - Cold Winter Climatic Region. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 109, p. 65–74, 2015.
- WEBER, F. da S. et al. Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no

- programa EnergyPlus. **Relatório de pesquisa** – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- WEI, Shen; JONES, Rory; DE WILDE, Pieter. Driving factors for occupant-controlled space heating in residential buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], 2013.
- WIDÉN, Joakim; NILSSON, Annica M.; WÄCKELGÅRD, Ewa. A combined Markov-chain and bottom-up approach to modelling of domestic lighting demand. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 41, n. 10, p. 1001–1012, 2009.
- WIDÉN, Joakim; WÄCKELGÅRD, Ewa. A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand. **Applied Energy**, [s. l.], v. 87, n. 6, p. 1880–1892, 2010.
- WILDE, Pieter De et al. Survey on the Occupant Behavior Relating To Window and Air Conditioner Operation in the Residential Buildings. **Proceedings of Building Simulation**, [s. l.], p. 2007–2013, 2011.
- WILKE, Urs et al. A bottom-up stochastic model to predict building occupants' time-dependent activities. **Building and Environment**, [s. l.], v. 60, p. 254–264, 2013.
- WILKE, U. **Probabilistic bottom-up modelling of occupancy and activities to predict electricity demand in residential buildings**. 2013. 193 f. Thesis (Doctoral in Environment) – École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2013.
- WINKLER, Jon; MUNK, Jeffrey; WOODS, Jason. Effect of occupant behavior and air-conditioner controls on humidity in typical and high-efficiency homes. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 165, p. 364–378, 2018.
- YAMAKAWA, M. A; WESTPHAL, F. S. Influência do percentual de abertura nas fachadas e do fator solar dos vidros na etiquetagem do procel/inmetro: método prescritivo x simulação. XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Búzios, 2011. **Anais...** Búzios, 2011.
- YAN, Da et al. Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 107, p. 264–278, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778815302164>>
- YAN, Da; HONG, Tianzhen. EBC Annex 66 Proposal Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings. [s. l.], 2014.
- YANG, Junjing; SANTAMOURIS, Mattheos; LEE, Siew Eang. Review of occupancy sensing systems and occupancy modeling

- methodologies for the application in institutional buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 121, p. 344–349, 2016.
- YAO, Jian. Determining the energy performance of manually controlled solar shades: A stochastic model based co-simulation analysis. **Applied Energy**, [s. l.], v. 127, p. 64–80, 2014.
- YIK, F.; BOJIC, M.; WAN, K. The influence of envelope characteristics to the energy behaviour of high-rise residential buildings. **Advances in Building Technology**. p.1289–1296, 2002.
- YOSHINO, Hiroshi; HONG, Tianzhen; NORD, Natasa. IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 152, n. March 2013, p. 124–136, 2017.
- YU, Zhun et al. A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 43, n. 6, p. 1409–1417, 2011.
- ZHOU, Hao et al. Recognition of air - conditioner operation from indoor air temperature and relative humidity by a data mining approach. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 111, p. 1–13, 2016.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SOBRE O COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

Comportamento do usuário em edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis

Prezado morador, obrigado pela sua participação. Ao responder o questionário, você está contribuindo para o desenvolvimento de uma importante ferramenta para a otimização de projetos arquitetônicos, visando maior conforto térmico para os usuários e menor consumo de energia.

O questionário possui 15 questões e o tempo estimado para preenchimento é aproximadamente 10 minutos.

1. Nome do condomínio e bairro:

2. Número do apartamento e bloco:

3. **Selecione o sistema de condicionamento artificial instalado na SALA.**

Mark only one oval.

- Split (aquecimento e resfriamento)
- Split (somente resfriamento)
- Split (somente aquecimento)
- Ar condicionado de janela
- Aquecedor elétrico
- Nenhum

4. **Selecione o sistema de condicionamento artificial instalado no DORMITÓRIO.**

Caso o apartamento possua mais de um dormitório, eleja um para responder a essa e às demais perguntas referentes.

Mark only one oval.

- Split (aquecimento e resfriamento)
- Split (somente resfriamento)
- Split (somente aquecimento)
- Ar condicionado de janela
- Aquecedor elétrico
- Nenhum

5. Como você costuma operar o sistema de condicionamento artificial na SALA?

(Múltipla escolha)

Check all that apply.

- Raramente acionado.
- Usado somente no verão, durante o período noturno.
- Usado somente no verão, em mais de um período do dia.
- Desligo após um curto período ligado, quando a temperatura do ambiente está agradável.
- Usado no verão e no inverno, durante o período noturno.
- Usado no verão e no inverno, em mais de um período do dia.
- Não possui sistema de condicionamento artificial nesse ambiente.

6. Como você costuma operar o sistema de condicionamento artificial no DORMITÓRIO?

(Múltipla escolha)

Check all that apply.

- Raramente acionado.
- Usado somente no verão, durante o período noturno.
- Usado somente no verão, em mais de um período do dia.
- Desligo após um curto período ligado, quando a temperatura do ambiente está agradável.
- Usado no verão e no inverno, durante o período noturno.
- Usado no verão e no inverno, em mais de um período do dia.
- Não possui sistema de condicionamento artificial nesse ambiente.

7. Como você costuma operar a cortina ou persiana interna na SALA?*Mark only one oval.*

- Sempre aberta.
- Aberta somente quando estou no ambiente.
- Aberta sempre que as janelas estão abertas.
- Fechada somente no período noturno.
- Sempre fechada.
- Não possui cortina / persiana interna.
- Other: _____

8. Como você costuma operar a cortina ou persiana interna no DORMITÓRIO?*Mark only one oval.*

- Sempre aberta.
- Aberta somente quando estou no ambiente.
- Aberta sempre que as janelas estão abertas.
- Fechada somente no período noturno.
- Sempre fechada.
- Não possui cortina / persiana interna.
- Other: _____

9. Por que motivos você ajusta (abre ou fecha) a cortina ou persiana interna?*(Múltipla escolha)**Check all that apply.*

- Aproveitar a luz natural (economia de energia)
- Apreciar a vista externa
- Bloquear luz solar direta (ofuscamento, claridade em excesso)
- Proteger de temperatura elevada
- Aumentar privacidade
- Other: _____

10. Como você costuma operar a janela na SALA?*Mark only one oval.*

- Sempre aberta.
- Aberta somente quando estou no ambiente.
- Aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar.
- Sempre fechada.
- Other: _____

11. Como você costuma operar a janela no DORMITÓRIO?*Mark only one oval.*

- Sempre aberta.
- Aberta somente quando estou no ambiente.
- Aberta apenas por curto intervalo diário para renovar o ar.
- Sempre fechada.
- Other: _____

12. Assinale na tabela abaixo os horários em que você costuma ficar na SALA, nos dias úteis.*Check all that apply.*

- 00h
- 01h
- 02h
- 03h
- 04h
- 05h
- 06h
- 07h
- 08h
- 09h
- 10h
- 11h
- 12h
- 13h
- 14h
- 15h
- 16h
- 17h
- 18h
- 19h
- 20h
- 21h
- 22h
- 23h

13. Assinale na tabela abaixo os horários em que você costuma ficar na SALA, nos finais de semana.

Check all that apply.

- 00h
- 01h
- 02h
- 03h
- 04h
- 05h
- 06h
- 07h
- 08h
- 09h
- 10h
- 11h
- 12h
- 13h
- 14h
- 15h
- 16h
- 17h
- 18h
- 19h
- 20h
- 21h
- 22h
- 23h

14. Assinale na tabela abaixo os horários em que você costuma ficar no DORMITÓRIO, nos dias úteis.

Check all that apply.

- 00h
- 01h
- 02h
- 03h
- 04h
- 05h
- 06h
- 07h
- 08h
- 09h
- 10h
- 11h
- 12h
- 13h
- 14h
- 15h
- 16h
- 17h
- 18h
- 19h
- 20h
- 21h
- 22h
- 23h

15. Assinale na tabela abaixo os horários em que você costuma ficar no DORMITÓRIO, nos finais de semana.

Check all that apply.

- 00h
- 01h
- 02h
- 03h
- 04h
- 05h
- 06h
- 07h
- 08h
- 09h
- 10h
- 11h
- 12h
- 13h
- 14h
- 15h
- 16h
- 17h
- 18h
- 19h
- 20h
- 21h
- 22h
- 23h

APÊNDICE B – DADOS DE MONITORAMENTO DA OCUPAÇÃO

Tabela B1. Perfis de ocupação monitorados para a sala em dias úteis.

Usuários	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	
Usuário 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	
Usuário 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Usuário 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Usuário 4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Usuário 7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Usuário 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Usuário 10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
Usuário 14	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Usuário 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 18	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Usuário 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Usuário 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
Usuário 21	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Usuário 22	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Usuário 24	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Usuário 25	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 26	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Usuário 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Usuário 32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 36	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 39	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Usuário 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 41	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Usuário 42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 43	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 44	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 46	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 47	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Usuário 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Usuário 53	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Usuário 55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Usuário 56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Usuário 57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Usuário 59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Usuário 62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Usuário 63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Usuário 65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Usuário 67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 69	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0

Continuação Tabela B1. Perfis de ocupação monitorados para a sala em dias úteis.

Usuários	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h		
Usuário 71	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
Usuário 72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Usuário 73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Usuário 74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	
Usuário 75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
Usuário 76	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Usuário 77	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
Usuário 78	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	
Usuário 79	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
Usuário 80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
Usuário 81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	
Usuário 82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	
Usuário 83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	
Usuário 85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	
Usuário 86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	
Usuário 87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	
Usuário 88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Usuário 90	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Usuário 91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 92	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
Usuário 93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Usuário 94	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
Usuário 95	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
Usuário 96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	
Usuário 97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	
Usuário 98	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	
Usuário 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
Usuário 100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
Usuário 101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 102	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	
Usuário 103	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
Usuário 104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	
Usuário 105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
Usuário 106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
Usuário 107	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	
Usuário 108	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Usuário 109	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Usuário 110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
Usuário 111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
Usuário 112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	
Usuário 113	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	
Usuário 114	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Usuário 115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Usuário 116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	
Usuário 118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Usuário 119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 120	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Usuário 121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
Usuário 122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
Usuário 123	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
Usuário 124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Usuário 125	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
Usuário 126	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	
Usuário 127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Usuário 128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
Usuário 129	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
Usuário 130	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
Usuário 131	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
Usuário 132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
Usuário 133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
Usuário 134	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Usuário 135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	
Usuário 137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
Usuário 139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	
Usuário 140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	

Continuação Tabela B1. Perfis de ocupação monitorados para a sala em dias úteis.

Usuários	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	
Usuário 141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 142	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 146	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Usuário 148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Usuário 149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Usuário 150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Usuário 153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Usuário 155	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Usuário 156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Usuário 157	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Usuário 158	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0

Continuação Tabela B2. Perfis de ocupação monitorados para a sala em dias de final de semana.

Horários	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	
Usuário 141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 142	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Usuário 144	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Usuário 145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Usuário 146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Usuário 147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Usuário 148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Usuário 149	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Usuário 150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Usuário 151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Usuário 153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Usuário 154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
Usuário 155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 157	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Usuário 158	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Continuação Tabela B3. Perfis de ocupação monitorados para o dormitório em dias úteis.

Usuários	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Usuário 71	0	0						1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 72	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 73	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 74	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 76	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 77	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Usuário 78	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 79	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Usuário 81	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 82	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 83	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 84	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 85	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Usuário 86	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 87	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Usuário 89	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 90	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Usuário 91	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Usuário 92	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 93	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 94	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 95	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 96	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 97	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 99	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Usuário 100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Usuário 101	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Usuário 102	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 103	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Usuário 104	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 105	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 106	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 107	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 108	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Usuário 109	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 110	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 111	0																							
Usuário 112	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Usuário 113	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 114	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 115	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 116	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 117	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 118	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
Usuário 119	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Usuário 120	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Usuário 121	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 122	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 123	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 124	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 125	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 126	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 127	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 128	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 129	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 130	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 131	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 132	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 133	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 134	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 135	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Usuário 136	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 137	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 138	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 139	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Continuação Tabela B3. Perfis de ocupação monitorados para o dormitório em dias úteis.

Usuários	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h		
Usuário 141	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
Usuário 142	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Usuário 143	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 144	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Usuário 145	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Usuário 146	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 147	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 148	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
Usuário 149	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 150	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 151	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Usuário 152	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Usuário 153	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	
Usuário 154	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
Usuário 155	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Usuário 156	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Usuário 157	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
Usuário 158	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1

Continuação Tabela B4. Perfis de ocupação monitorados para o dormitório em dias de final de semana.

Horários	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Usuário 71	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Usuário 73	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 74	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 76	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 77	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 78	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 79	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 81	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 82	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 83	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 84	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 85	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 86	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 87	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 89	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 90	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 91	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Usuário 92	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 93	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 94	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Usuário 95	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 96	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 97	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 99	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 101	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 102	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 103	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 104	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 105	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 106	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 107	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 108	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 109	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 110	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 111	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 112	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 113	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 114	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 115	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 116	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 117	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 118	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
Usuário 119	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 120	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Usuário 121	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 122	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 123	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 124	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 125	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 126	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 127	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 128	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 130	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 131	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 132	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Usuário 133	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 134	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 135	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Usuário 136	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 138	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 139	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Usuário 140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

