

# EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS REPRESENTATIVOS PARA ESTUDOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS

*REPRESENTATIVE OFFICE BUILDINGS FOR ENERGY PERFORMANCE STUDIES IN THE CITY OF FLORIANOPOLIS*

 **Fernanda Selistre da Silva Scheidt**<sup>1</sup>

 **Fernando Simon Westphal**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. [feselistre@gmail.com](mailto:feselistre@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. [fernando.sw@ufsc.br](mailto:fernando.sw@ufsc.br)

## Resumo

A formulação de políticas e esquemas de incentivo para redução do consumo de energia nos edifícios demandam conhecimento das características dos estoques edificados para entender como o seu desempenho energético pode ser melhorado. O objetivo deste trabalho é identificar, com relação ao sistema de condicionamento de ar instalado, a forma, dimensões e percentual de abertura da fachada, edifícios representativos que possam ser utilizados como referência na análise de desempenho energético de edifícios de escritórios. O estudo concentrou-se na cidade de Florianópolis. Uma amostra de 197 edifícios de escritórios foi estudada, adotando a abordagem K-means como metodologia de classificação de 187 edifícios quanto à sua forma e dimensões e 179 edifícios quanto ao percentual de abertura das fachadas. Para o sistema de condicionamento de ar instalado, a análise baseou-se na frequência de ocorrência. Como resultado da análise é possível afirmar que os edifícios de escritórios de Florianópolis podem ser representados por plantas de duas formas, em quatro tamanhos distintos: (a) quadrado pequeno, medindo 16 m x 15 m (considera tolerância para a diferença entre as duas medidas) e (b) quadrado grande, medindo 23 m x 23 m; (c) retângulo pequeno, medindo 15 m x 24 m e; (d) retângulo grande, medindo 15 m x 34 m. Os edifícios da tipologia utilizam majoritariamente sistemas de condicionamento individual providos por aparelhos de janela ou split. O edifício de escritórios típico de Florianópolis possui 33% de área envidraçada na fachada norte, 30% na fachada sul, e 24% nas fachadas leste e oeste.

**Palavras-chave:** análise de agrupamento, k-médias, edifícios de referência, edifícios de escritório.

## Abstract

The formulation of policies and incentive schemes to reduce energy consumption in buildings demand knowledge of the characteristics of built stocks to understand how their energy performance can be improved. The objective of this work is to identify, regarding the installed air conditioning system, the shape, dimensions, and percentage of facade opening of representative buildings that can be used as references in the analysis of energy performance in office buildings. The study focused on the city of Florianópolis. A sample of 197 office buildings was studied, adopting the K-means approach for classifying 187 buildings in terms of shape and dimensions and 179 buildings concerning the facades' opening percentage. For the installed air conditioning system, the analysis was based on the frequency of occurrence. From the results of the analysis, it is possible to state that the office buildings in Florianópolis can be represented by building plans of two distinct shapes (square and rectangular) in four different area sizes: (a) small square, measuring 16 m x 15 m (with a small tolerance for the difference between the two measurements) and (b) large square, measuring 23 m x 23 m; (c) small rectangle, measuring 15 m x 24 m and; (d) large rectangle, measuring 15 m x 34 m. The buildings of the typology mostly use individual conditioning systems provided by a window or split devices. The typical office building in Florianópolis has 33% of the glazed area on the north facade, 30% on the south facade, and 24% on the east and west facades.

**Keywords:** cluster analysis, k-means, reference buildings, office building.

### Contribuição dos autores:

**FSSS:** conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição. **FSW:** conceituação, metodologia, supervisão, validação, escrita - revisão e edição.

Fomento: Não houve fomento

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editora Responsável:

Michele Marta Rossi 

How to cite this article:

SCHEIDT, F. S. da S.; WESTPHAL, F. S. Edifícios de escritórios representativos para estudos de desempenho energético na cidade de Florianópolis. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023012, 2023. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v14i00.8668318>

Submitted 05.02.2022 – Approved 21.04.2023 – Published 29.05.2023

e023012-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023012, 2023, ISSN 1980-6809



## Introdução

O consumo mundial de energia está em constante crescimento e a manutenção dos estoques representa um grande desafio para os governos. É notório que uma das estratégias mais importantes, diante de uma provável escassez de recursos ou aumento no custo de geração e distribuição, é a conservação de energia (DI TURI; STEFANIZZI, 2015; KNEIFEL, 2010; LEE; YIK, 2004). As edificações podem dar uma importante contribuição em relação ao uso racional de energia, já que edifícios são responsáveis por 36% do consumo final da energia global (IEA, 2019).

No Brasil, a energia elétrica utilizada por edifícios corresponde a 52% do consumo nacional, sendo as edificações comerciais responsáveis por 17% (EPE, 2020). O crescimento do número de edifícios de escritórios reflete o crescimento econômico do país e suas características arquitetônicas seguem o estilo internacional, caracterizado por fachadas totalmente envidraçadas, planta livre, leiautes flexíveis, com sistemas artificiais de iluminação e condicionamento de ar (BRUGNERA *et al.*, 2019). Nesse sentido, escritórios corporativos têm altas densidades de cargas internas devido ao uso intenso de computadores e, diante das exigências de conforto dos usuários, possuem perto de 100% de sua área útil condicionada (CBCS, 2014).

### Lacuna de pesquisa

A construção de códigos de energia (normas, regulamentos) é uma ferramenta importante para realizar o potencial de economia de energia no setor da construção e uma das medidas políticas mais eficazes em termos de custos para fornecer economia de energia em larga escala e a longo prazo (IPEEC, 2015). No entanto, a formulação de políticas energéticas para o estoque de edifícios no contexto urbano, frequentemente requer a avaliação do uso de energia de um grande número de edifícios e, quando a modelagem energética é utilizada como parte desse processo, a identificação de edifícios representativos pode desempenhar um papel crítico (TARDIOLI *et al.*, 2018).

Para avaliar se um edifício é mais eficiente do que outros similares quanto ao uso de energia, é necessário desenvolver um sistema de benchmarking energético, que consiste na comparação do consumo de energia entre diversos prédios de uma mesma tipologia (BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016).

Atualmente, no Brasil, a falta de conhecimento do parque edificado, com a consequente ausência de padrões de consumo, dificulta a comparação entre edifícios de uma tipologia na avaliação de eficiência energética. Assim, o objetivo deste trabalho é identificar, com relação ao sistema de condicionamento de ar instalado, a forma, dimensões e percentual de abertura da fachada (PAF<sup>1</sup>), edifícios representativos que possam ser utilizados como referência para análise de desempenho energético de edifícios de escritórios existentes na cidade de Florianópolis. Mesmo que climatizados de modo misto (ou com ventilação híbrida), neste estudo o PAF dos edifícios se refere somente à área envidraçada, ou seja, não aborda a área efetiva de ventilação natural, nem o modo como as janelas são utilizadas.

---

<sup>1</sup> De acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), o PAF é calculado pela razão entre a área de abertura envidraçada e a área total da fachada da edificação (INMETRO, 2013).

## **Revisão de literatura**

Considerando a extensão do estoque edificado mundial, com o propósito de modelar sua demanda de energia, um estoque de construção pode ser descrito por meio de edifícios representativos. A criação de um banco de dados de modelos de referência tem se tornado indispensável para os estudos de desempenho termoenergético em grande escala (CORGNATI *et al.*, 2013).

No entanto, existe uma grande variação no tamanho, forma e métodos de construção dos edifícios. O estoque foi edificado durante um longo período, com a utilização de muitos materiais e técnicas de construção diferentes. Internamente, os sistemas de aquecimento e resfriamento podem variar muito em termos de tipo, fontes de energia e eficiência. Além disso, cada um desses edifícios está sujeito a condições climáticas, incluindo a temperatura do ar ambiente e a irradiação solar, que podem variar espacialmente, além de conter flutuações de curto prazo e tendências de longo prazo. O microclima local pode variar em todo o parque edificado, desde locais rurais altamente expostos à insolação e ventos, até centros urbanos afetados pelo efeito de ilha de calor. O comportamento dos ocupantes é uma complexidade adicional que envolve múltiplos fatores: número de pessoas, idade, padrões de ocupação entre outros (CARLUCCI *et al.*, 2021; CASSOLA *et al.*, 2022; FIRTH; LOMAS; WRIGHT, 2010; MANN; BECERIK-GERBER, 2012; PAONE; BACHER 2018; RAFSANJANI; AHN; ALAHMAD, 2015; SOOMRO *et al.*, 2019; ZIMMERMANN, 2007).

Assim, a escolha dos edifícios de referência tem, de certa forma, uma natureza arbitrária, o que pode ser fonte de desvios e inconsistências nos resultados alcançados e na construção de comparações (BRANDÃO DE VASCONCELOS *et al.*, 2015). A incerteza nas previsões de modelos do estoque edificado pode ser grande e a falha em reconhecer isso pode levar a um falso senso de confiabilidade (FIRTH; LOMAS; WRIGHT, 2010). A abordagem metodológica a ser seguida na definição de edifícios de referência ainda está em discussão e é um campo importante nos estudos relacionados ao desempenho energético dos edifícios (BAGLIVO *et al.*, 2015; BRANDÃO DE VASCONCELOS *et al.*, 2015; CORGNATI *et al.*, 2013).

### *Modelos de referência utilizados em estudos brasileiros com edifícios comerciais de escritório*

Nos últimos anos, uma variedade de modelos de estoques de construção foi desenvolvida para fins de estudo do consumo de energia. Esses modelos variam consideravelmente em termos de abordagem geral, requisitos de informação, nível de desagregação, suposições subjacentes sobre edifícios e sua operação, resultados e cenários que podem avaliar (KAVGIC *et al.*, 2010). No cenário nacional, existem pesquisas acerca do desempenho energético de edificações comerciais, onde é possível observar o uso de modelos de referência distintos. O Quadro 1 resume as características geométricas dos modelos utilizados em estudos brasileiros.

### *O uso do agrupamento de dados para a identificação de edifícios representativos*

A ideia de agrupar objetos semelhantes para produzir uma classificação é claramente primitiva, e, além de ser uma atividade conceitual humana básica, a classificação é fundamental para a maioria dos ramos da ciência. Se os dados podem ser resumidos de forma válida por um pequeno número de grupos de objetos, os rótulos desses grupos podem fornecer uma descrição muito concisa das semelhanças e diferenças nos dados. A necessidade de resumir os conjuntos de dados dessa forma é cada vez mais importante devido ao número crescente de grandes bancos de dados, agora disponíveis em muitas áreas da ciência, e a exploração desses bancos por meio de

técnicas de análise multivariada agora é frequentemente chamada de “mineração de dados” (EVERITT *et al.*, 2011).

O *clustering* é uma técnica de mineração de dados que permite avaliação simultânea de múltiplas variáveis, agrupando elementos que possuem semelhanças. *Clusters* são conjuntos de dados cujos elementos pertencentes a um mesmo conjunto apresentam maior semelhança entre si do que os elementos pertencentes a qualquer outro conjunto, de acordo com algum critério predeterminado. Normalmente o critério se baseia em uma função de dissimilaridade, que recebe dois objetos e retorna a distância entre eles (LINDEN, 2009).

**Quadro 1 - Modelos utilizados nos estudos de desempenho termo energético de edifícios comerciais de escritório no Brasil nos últimos 17 anos**

Autor	Referência utilizada	Forma	Dimensões (m)	nº pav. tipo	PAF (%)
(PIRRÓ, 2005)	Edifícios construídos em São Paulo entre 1980 e 2000	Quadrada	35x35	1	50 a 90
(SANTANA, 2006)	35 edifícios de Florianópolis	Retangular	25x8	11	40 e 20
(FIGUEIREDO, 2007)	Dilonardo (2001) e Pirró (2005)	Quadrada	26,5x26,5	20	25 e 59
(WESTPHAL, 2007)	Levantamento LabEEE (2005)	Retangular	27x7,5	5	10 e 90
(CARLO, 2008)	357 edifícios divididos em cinco cidades	Retangular	27x7,8 11x38 10x16	5 2 15	15, 25, e 35
(DE BENEDETTO, 2007)	Dilonardo (2001) Pirró (2005)	Quadrada	35x35	1	50 e 100
(MARCONDES, 2010)	De Benedetto (2007); Figueiredo (2007); BCO Guide (2000) e Westphal (2008)	Quadrada Retangular	30x30 60x15	6	50
(BESSA, 2010)	Edifício hipotético	Quadrada	32,91 x 32,91	1	15
(CARVALHO, 2011)	Edifício no Rio de Janeiro	Retangular	78x46	5	100
(RUPP, 2011)	Reinhart e Wienold (2011) e Ghisi (2002)	Retangular Quadrada	2:1, 1:1 e 1:2	1	10 a 100
(MELO <i>et al.</i> , 2014)	3200 casos simulados	Retangular Quadrada	Variadas	2 a 15	5 a 90
(ANDREIS, 2014)	Besen e Westphal (2012)	Retangular	60x40	20	30 a 60
(CBCS, 2014)	Edifícios em São Paulo (5) e Rio de Janeiro (3)	Quadrada	-	21	40 a 90
(DUARTE, 2014)	Apêndice G da ASHRAE Standard 90.1	Quadrada	30x30	15	50
(PINTO, 2017)	Lam e Hui (1995)	Quadrada	35x36	1	30 a 60
(VELOSO, 2017)	101 edifícios em Belo Horizonte	Variada	-	-	10 a 50
(ALVES, 2017)	298 edifícios em Belo Horizonte	Retangular	-	15	0, 25 e 50
(BRUGNERA, 2018)	Base de dados Buildings, entrevistas com especialistas	Retangular	40x20	1	30,55 e 80
(SANTESSO; CHVATAL, 2018)	55 edifícios da Base de dados Buildings	Retangular Quadrada	1:1, 2:1, 3:1, 1:2, e 1:3	1	10%, 40%, 70% e 100%

Fonte: os autores.

A clusterização é uma técnica não supervisionada, ou seja, não existe a figura do supervisor para indicar a que classe cada registro pertence. Assim, as informações de associação não são conhecidas ou utilizadas como entrada, sendo o algoritmo quem reconhece semelhanças e define os *clusters*. Com os agrupamentos definidos, é possível determinar o objeto mais representativo de cada grupo.

O *clustering* foi aplicado para diferentes finalidades nos estudos de energia em edifícios. É possível resumir o trabalho de pesquisa neste campo em cinco principais áreas de interesse: benchmarking de edifícios, perfil de energia, identificação de edifícios representativos, modelagem preditiva e outras áreas relacionadas principalmente ao comportamento dos ocupantes (TARDIOLI *et al.*, 2018). O Quadro 2 mostra a síntese de estudos que utilizaram técnicas de *clustering* para identificação de edifícios representativos.

Para identificação de edifícios referência, o algoritmo de clusterização mais utilizado na literatura é o *k-means* ou *k-média*. Ele se chama assim porque encontra

k clusters distintos no conjunto de dados. O centro de cada cluster se chama centroide e representa a média dos valores contidos neste cluster. O número k de clusters é definido pelo usuário e as posições iniciais para os k centroides podem ser selecionados aleatoriamente dentro do conjunto de dados. Então, cada cluster é definido pelo centroide e cada objeto será associado ao cluster mais próximo, considerando a distância euclidiana entre eles. Depois disso, os centroides dos clusters são recalculados a partir da média entre todos os objetos atribuídos a ele. Uma nova rodada de cálculo das distâncias recomeça considerando a alteração do centroide do cluster, e o cálculo das distâncias segue até que os clusters se tornem estáticos. Isso acontece quando nenhum dos pontos de dados muda de cluster.

**Quadro 2 - Revisão de literatura sobre métodos de agrupamento aplicados para identificação de edifícios representativos em estudos de energia em edifícios**

Referência	Tipologia	Algoritmo utilizado	nºde edifícios	Escala
(ARAMBULA LARA; CAPPELLETTI; GASPARELLA, 2014)	Escolas	<i>K-means</i>	60	Regional
(DEB; LEE, 2018)	Escritórios	<i>K-means</i>	56	Urbana
(FAMUYIBO; DUFFY; STRACHAN, 2012)	Residencial	-	150	Nacional
(GAITANI et al., 2010)	Escolas	<i>K-means</i>	1110	Nacional
(GANGOLELLS et al., 2020)	Escritórios	<i>K-means</i>	6083	Regional
(GHIASSI; MAHDAVI, 2017)	Várias	Vários	750	Urbana
(PIERI; TZOUVADAKIS; SANTAMOURIS, 2015)	Hotéis	<i>K-means</i>	35	Regional
(SCHAEFER; GHISI, 2016)	Residencial	Hierárquico <i>K-means</i>	103	Urbana
(TARDIOLI et al., 2018)	Uso misto	Hierárquico <i>K-means</i>	9500	Urbana
(LEDESMA; PONS-VALLADARES; NIKOLIC, 2021)	Escolas	<i>K-means</i>	427	Urbana

Fonte: os autores.

Para avaliação do resultado, a forma mais simples de verificar a “qualidade” dos clusters é medindo distâncias *inter-clusters* (entre os clusters) e *intra-cluster* (entre os objetos do cluster). Ou seja, quanto maior a distância euclidiana entre os centroides dos clusters, mais precisa foi a classificação e quanto mais próximos os objetos estiverem do centroide do cluster, maior é a similaridade entre eles.

Pela revisão de literatura constata-se que o desenvolvimento da metodologia de agrupamento parece ser promissor na classificação energética de grandes parques imobiliários. Desse modo, os resultados da avaliação e as informações coletadas podem ser usados para identificar as melhores práticas e definir metas de desempenho energético do parque edificado (ARAMBULA LARA; CAPPELLETTI; GASPARELLA, 2014; GHIASSI; MAHDAVI, 2017; SCHAEFER; GHISI, 2016).

## Metodologia

A metodologia desta pesquisa consiste em quatro etapas assim identificadas: (a) definição da amostra; (b) levantamento de campo e extração de dados adicionais; (c) análise preliminar e (d) agrupamento de dados para a identificação de subgrupos homogêneos na amostra utilizando a análise de agrupamento, ou clusterização, por meio do algoritmo *K-means*.

### Definição da amostra

Para o recorte espacial da pesquisa, a cidade de Florianópolis, na região sul do Brasil, foi definida como campo de estudo. Segundo o zoneamento bioclimático brasileiro, Florianópolis está inserida na zona 3, com clima subtropical úmido (do tipo Cfa de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger). As estações do ano são bem caracterizadas. A temperatura média anual é de 21 °C, a temperatura mínima média nos meses mais frios é de 12,9 °C e a temperatura máxima média nos meses mais quentes é

de 29,4°C (INMET, 2020). A quantidade de edificações de escritórios presentes na cidade foi identificada a partir de um banco de dados fornecido pela empresa Buildings<sup>2</sup> (BUILDINGS, 2020). Entre as informações constantes na base de dados foram selecionadas para caracterizar o estoque de edifícios de escritórios: idade, localização, número de pavimentos, área do pavimento tipo e sistema de condicionamento de ar. A base de dados da Buildings apontou um universo de 208 edifícios de escritórios em Florianópolis. Deste universo foram excluídos os edifícios que ainda estavam em construção ou em fase de projeto no ano de 2020, resultando em uma amostra de 197 edifícios.

### *Levantamento de campo e coleta de dados adicionais*

A localização dos edifícios foi utilizada para mapeá-los na malha urbana e verificar outros parâmetros que complementaram as informações extraídas da base: a orientação solar, a forma da planta do pavimento tipo, dimensões e percentual de abertura da fachada (PAF). Esses dados foram obtidos por meio do programa Autocad® e dos softwares de uso livre Google Maps®, Google Earth Pro® e Google Street View®. Foi necessário levantamento fotográfico *in loco* de 21 edifícios, alguns devido à ausência de boa resolução das imagens para extração do PAF, outros, pelo fato do Google Earth® estar operando com imagens do ano de 2015. Assim, alguns dos prédios constantes na base de dados como concluídos e ocupados, apareciam como canteiro de obras nas imagens do Google Earth®. Também foram realizadas pesquisas em sites de imobiliárias, consultas telefônicas e visitas *in loco*, para a verificação do tipo de sistema de condicionamento de ar utilizado em 10 edifícios da amostra.

**Figura 1 – Fotos de alguns edifícios no levantamento de dados *in loco***



Fonte: os autores.

Utilizando como referência o norte geográfico, foram definidas quatro orientações solares para as fachadas, conforme a simplificação utilizada no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) (INMETRO, 2013): (a) Orientação norte, quando o azimute da fachada é de 0 a 45,0° e de 315,1° a 360,0°; (b) orientação leste, quando o azimute da fachada é de 45,10° a 135,0°; (c) orientação sul, quando o azimute é de 135,10° a 225,0°; e (d) orientação oeste, quando o azimute da fachada é de 225,10° a 315,0°.

Para o cálculo do PAF, foram desenhados no programa Autocad®, sobre as imagens dos edifícios, os perímetros das fachadas e das áreas envidraçadas para cada uma das orientações solares de cada edifício da amostra. O PAF foi então calculado pela razão entre a área de abertura envidraçada e a área total da fachada da edificação. Apenas 7

<sup>2</sup> A Buildings é uma empresa de BigData do mercado de Real State que atua no Brasil. A plataforma monitora dados sobre 8.177 edifícios de escritórios e 705 condomínios industriais e logísticos em 17 cidades brasileiras e na cidade de Santiago, no Chile (BUILDINGS, 2020).

edifícios apresentaram proteções solares, o que representa 3,55% da amostra. Esses edifícios foram mantidos na amostra, mas as proteções solares foram ignoradas para cálculo do PAF. Para 18 edifícios da amostra não foi possível extrair o PAF, por falta de visibilidade da fachada, mesmo que pela foto aérea no Google Earth®. Esses edifícios foram excluídos da amostra para a análise do PAF e mantidos na amostra para análise da forma, dimensões e sistema de condicionamento de ar instalado.

#### *Forma de análise dos resultados*

A base de dados foi estruturada em um arquivo formato .xls (Excel), com a memória de cálculo de cada PAF vinculado. Na etapa subsequente, no mesmo *software*, foram gerados histogramas de frequência e outros gráficos para análise preliminar dos dados.

A análise de agrupamento, ou clusterização, por meio do algoritmo *K-means*, foi identificada na literatura como metodologia usual para classificação de estoques edificadas (Quadro 2).

Nas análises foram utilizados os softwares SPSS V20 (IBM, 2011) para o agrupamento e Minitab 16 (MINITAB, 2010) para a elaboração dos dendrogramas. A medida de dissimilaridade adotada nesta pesquisa é distância euclidiana quadrada. O edifício mais próximo do centroide de cada *cluster* foi determinado como representativo dos grupos.

A maioria dos estudos brasileiros utiliza como base para simulação termoenergética um modelo do pavimento tipo. Neste tocante, o CBCS (CBCS, 2014) aponta que simplificar o modelo, adotando um pavimento tipo no lugar da representação de todos os pavimentos, demonstra variação menor que 1% no resultado final, diminuindo a demanda de processamento de dados sem a perda de precisão no processo de simulação.

Diante disso, utilizou-se como variáveis explicativas para a análise de agrupamento a largura e profundidade nos edifícios de forma quadrada e retangular, que representam 94,92% da amostra. Considerando que o agrupamento requer conjuntos de dados completos, o PAF foi considerado em uma segunda análise, uma vez que para quinze edifícios da amostra não foi possível identificar o índice em alguma das fachadas.

O dendrograma foi utilizado para visualizar o processo de clusterização passo a passo. Ele é um diagrama de árvore que exibe o agrupamento de observações e os níveis de similaridade entre elas. Neste estudo, as observações correspondem aos edifícios da amostra. Cada cor no diagrama representa um cluster, o nível de similaridade dos elementos contidos em cada cluster bem como a similaridade entre os clusters, de 0 a 100%, é medido ao longo do Y. O eixo X mostra o número de cada elemento da amostra, permitindo a identificação dos edifícios na base de dados.

Para validar a diferença entre os clusters as médias das variáveis largura e profundidade foram comparadas para ambas as formas por meio da análise de variância (ANOVA). A ANOVA tem como objetivo comparar a média de população amostral, e assim identificar se essas médias diferem significativamente entre elas. Na análise do PAF das fachadas, para determinar com precisão entre quais clusters ocorre a diferença, foi conduzido também o teste *post hoc* de Tukey, que compara os clusters aos pares.

Uma amostra de 197 edifícios de escritórios na cidade de Florianópolis foi estudada, adotando a abordagem *K-means* como metodologia de classificação de 187 edifícios

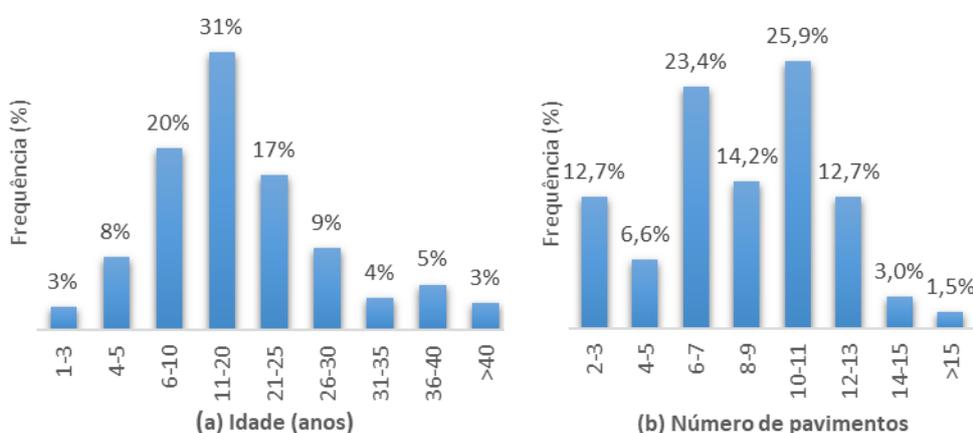
quanto à sua forma e dimensões e 179 edifícios quanto ao percentual de abertura das fachadas.

## Resultados

### Análise preliminar dos dados

A Figura 2(a) mostra a distribuição da frequência das edificações em relação à idade. Cerca de 31% dos edifícios comerciais de escritório de Florianópolis possuem de 11 a 20 anos, mas o mesmo percentual de 31% foi construído nos últimos 10 anos, quando a preocupação relacionada ao consumo de energia já era amplamente discutida. O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) estava em vigor desde 2009 e programas de certificação ambiental que abordam o uso de energia, como o LEED já eram difundidos no âmbito nacional.

Figura 2 - Distribuição de frequência de edifícios em relação à idade e ao número de pavimentos



Fonte: os autores.

A Figura 2(b) apresenta a distribuição de frequência de edifícios em relação ao número de pavimentos. Dentre os edifícios de uso comercial de escritórios, 95,5% possuem até 13 pavimentos, sendo que 42,7% possuem de dois a sete pavimentos e 52,8% possuem de oito a 13 pavimentos. É possível notar que as faixas de seis a sete e de dez a 11 pavimentos acumulam a maior quantidade de edifícios, totalizando 49,3% da amostra.

No que diz respeito à forma, é possível afirmar que o estoque de edifícios comerciais de escritório de Florianópolis é majoritariamente retangular (82%). A forma quadrada representa apenas 13% da amostra e, entre as formas menos frequentes, que representam 5% da amostra, estão a curvilínea, triangular e trapezoidal. Para edifícios com diferença de até 12,5% entre a menor e a maior dimensão do pavimento tipo, a forma foi considerada quadrada.

A identificação do sistema de condicionamento de ar representativo do estoque edificado se baseou na frequência relativa, que apontou que 60% dos edifícios da tipologia utilizam sistemas de condicionamento individual por meio de aparelhos de janela ou *splits*. Os sistemas do tipo central e *self* com distribuição por dutos dividem quase que igualmente os 40% restantes dos sistemas instalados.

Ao analisar a distribuição de frequência de edifícios em relação ao PAF (Figura 3) é possível afirmar que, para todas as orientações solares, o PAF dos edifícios se concentra na faixa de até 60%. O comportamento semelhante de distribuição do PAF,

em todas as orientações, evidencia a ausência de preocupação com as questões termoenergéticas na fase de concepção dos projetos.

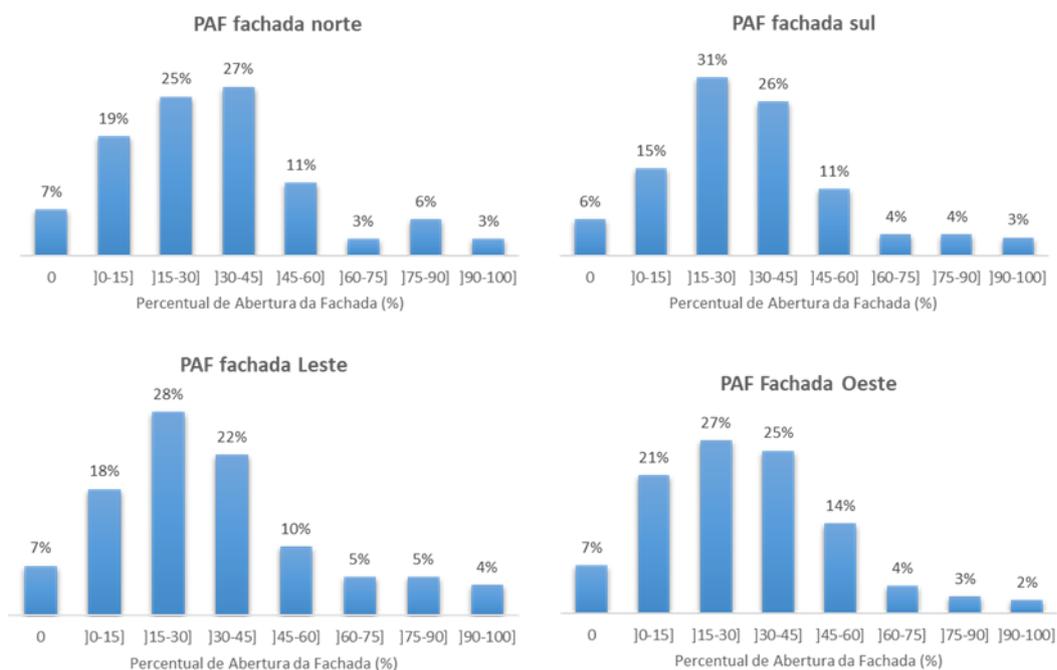
Os demais resultados do estudo podem ser divididos em três partes. A primeira apresenta a análise da forma e dimensões dos edifícios da amostra; a segunda apresenta a análise do PAF e a terceira inclui o teste do agrupamento por *k-means* como ferramenta de classificação na análise conjunta das variáveis largura, profundidade, PAF e sistema de condicionamento de ar instalado.

### Forma e dimensões

Para a forma quadrada foram adotados três *clusters* (Figura 4), sendo um deles considerado *outlier*. *Outliers* são dados que se distanciam radicalmente de todos os outros, valores que fogem da normalidade e podem causar desequilíbrio nos resultados obtidos. A análise do dendrograma (Figura 4) nos permite detectar um *outlier*, pois o ramo isolado (que se refere ao *cluster* verde) sugere que ele é muito diferente dos demais. O *cluster* verde foi então excluído, por conter apenas um edifício muito diferente dos demais na amostra. Assim, restaram dois grandes grupos, que juntos representam 95,8% da amostra de edifícios de forma quadrada.

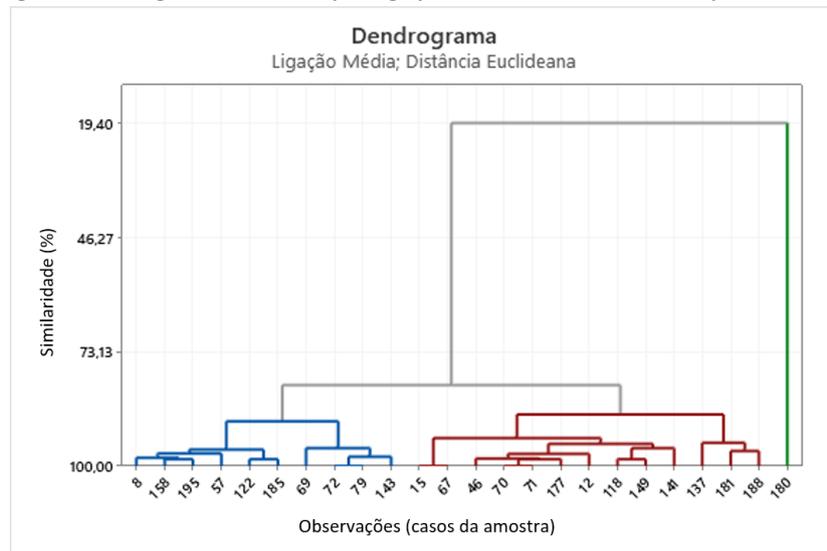
Para a forma retangular a análise considerou oito *clusters* (Figura 5). Com a exclusão de seis deles, devido ao número reduzido de elementos contidos em cada um (o que soma 10 edifícios), foi possível formar dois grandes e consistentes grupos, que juntos representam 93,9% da amostra de edifícios retangulares.

Figura 3 - PAF dos edifícios da amostra para as quatro orientações solares



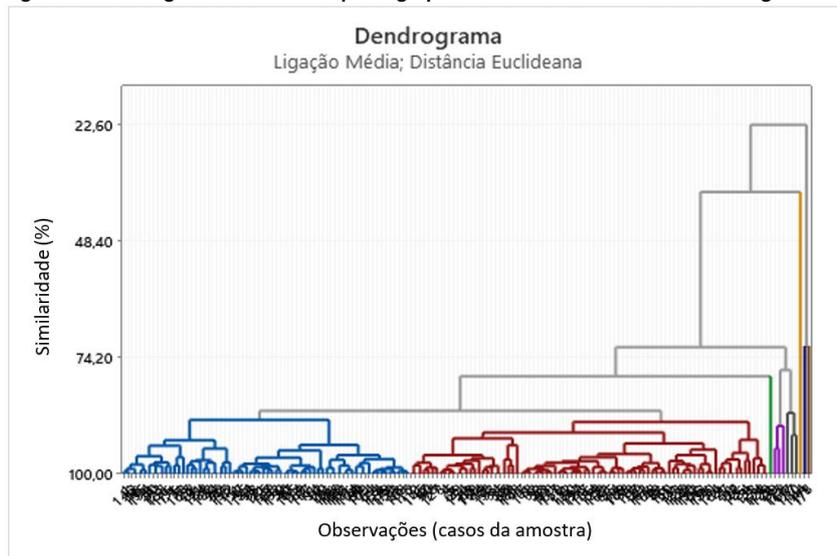
Fonte: os autores.

Figura 4 - Dendrograma de 3 clusters para agrupamento dos edifícios de forma quadrada



Fonte: os autores.

Figura 5 - Dendrograma de 8 clusters para agrupamento dos edifícios de forma retangular



Fonte: os autores.

A Tabela 1 mostra a quantidade de casos excluídos e analisados para cada forma e conseqüentemente sua prevalência. É possível verificar que, tanto para a forma quadrada quanto para a retangular, a quantidade de edifícios excluídos ficou próxima a 5%, o que pode ser considerado um baixo índice. Os edifícios representativos de cada cluster foram selecionados com base na menor distância euclidiana quadrada até o centroide do cluster a que ele pertence.

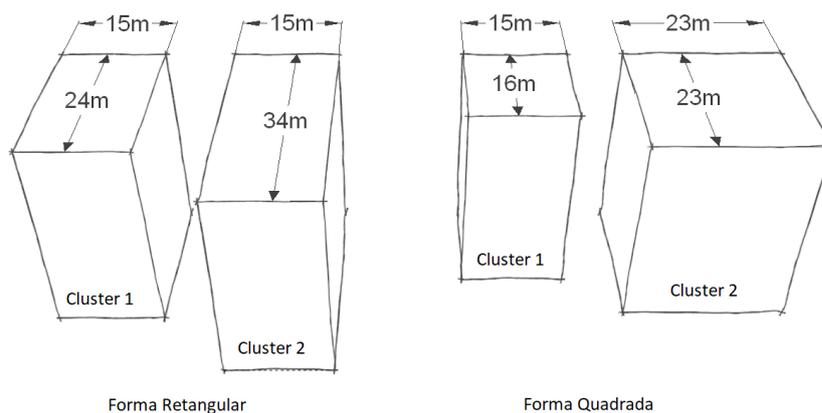
Tabela 1 - Distribuição dos casos excluídos/analísados por forma

	Quadrada		Retangular	
	N	%	N	%
Excluídos	1	4,20%	10	6,10%
Analisados	23	95,80%	153	93,90%

Fonte: os autores.

Figura 6 mostra esquematicamente as dimensões dos edifícios representativos de cada cluster para as formas retangular e quadrada. A Tabela 2 indica a representatividade de cada cluster na amostra analisada.

Figura 6 - Dimensões dos edifícios representativos de cada cluster, para as formas quadrada e retangular



Fonte: os autores.

Tabela 2 - Edifícios representativos de cada cluster para as formas quadrada e retangular.

Forma	Identificação do edifício na amostra	Cluster	Representatividade do cluster na amostra	Largura (m)	Profundidade (m)
Quadrada*	185	1	41,7%	16	15
	12	2	54,2%	23	23
Retangular	191	1	41,7%	24	15
	77	2	52,2%	15	34

Nota: (\*). Destaca-se que a forma quadrada considera tolerância de 12,5% entre as duas dimensões. Fonte: os autores.

Para validar a diferença entre os clusters as médias das variáveis largura e profundidade foram comparadas para ambas as formas por meio do teste ANOVA (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 - Comparação dos clusters para a forma quadrada.

		Média	Mediana	Desvio Padrão	CV	Min	Max	N	IC	P-valor
Largura	Cluster 1	15,00	16	2,71	0	11	18	10	1,68	<0,001
	Cluster 2	23,15	22	2,58	0	20	28	13	1,40	
Profundidade	Cluster 1	14,90	16	2,56	0	11	18	10	1,59	<0,001
	Cluster 2	23,69	24	3,04	0	20	30	13	1,65	

Fonte: os autores.

Tabela 4 - Comparação dos clusters para a forma retangular.

		Média	Mediana	Desvio Padrão	CV	Min	Max	N	IC	P-valor
Largura	Cluster 1	22,10	18	10,26	0	7	45	68	2,44	<0,001
	Cluster 2	15,20	13	7,56	0	6	39	85	1,61	
Profundidade	Cluster 1	15,81	16	5,01	0	6	26	68	1,19	<0,001
	Cluster 2	34,38	33	7,55	0	23	55	85	1,60	

Fonte: os autores.

O N mostra o número de edifícios em cada cluster. A mediana é uma medida de posição, que divide a amostra ao meio, ou seja, 50% dos edifícios estão acima do valor da mediana e 50% abaixo. Esta é uma estatística analisada em relação à média, pois quanto mais próximo seu valor for em relação à média, mais simétrica é a distribuição. A variabilidade é medida pelo desvio padrão. Quanto mais próximo (ou maior) esse valor for em relação à média, maior será a variabilidade, ou seja, a heterogeneidade dos dados. O Coeficiente de Variação (CV) é uma estatística que avalia o quanto a variabilidade representa da média. O ideal é que este índice seja o mais baixo possível (<50%), pois, desta forma, teremos uma baixa variabilidade e conseqüentemente uma homogeneidade dos resultados. Os valores mínimo e máximo são respectivamente o menor e o maior valor encontrado na amostra. O intervalo de confiança (IC), ora

somado e ora subtraído da média, mostra a variação da média segundo uma probabilidade estatística.

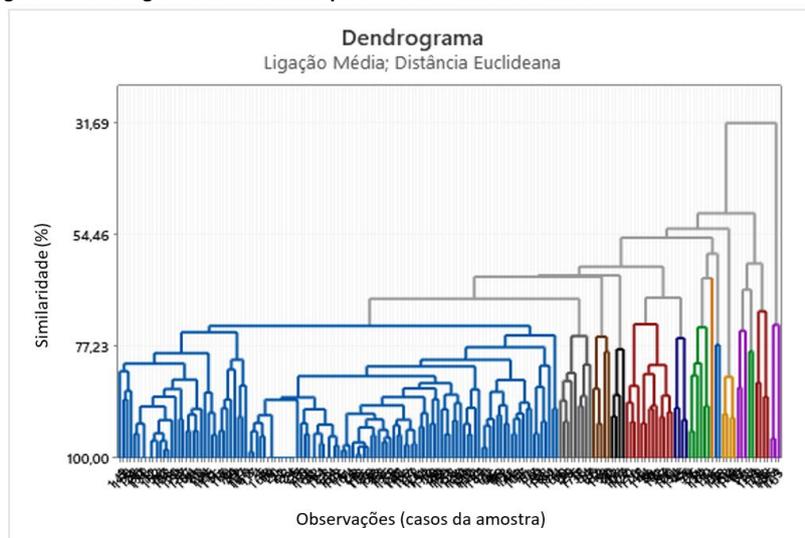
Definido o nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que a diferença média entre os clusters é altamente significativa ( $P\text{-valor} < 0,001$ ), mostrando assim que os clusters são bem distintos.

*Percentual de Abertura da Fachada*

A análise de agrupamento para o PAF considerou 179 edifícios da amostra, independente da forma. Aqueles que não possuíam os dados de PAF para todas as orientações solares (18 edifícios) foram excluídos. O arranjo com 14 clusters (Figura 7) mostrou-se o mais coerente, sendo que o maior cluster representa 66,48% da amostra, com similaridade entre os elementos contidos nele próxima de 75%.

A Tabela 5 apresenta o número de edifícios contidos em cada cluster e a representatividade de cada um deles na amostra. A Tabela 6 mostra os edifícios representativos dos três clusters com maior número de edifícios e seus respectivos PAFs. É possível perceber que no cluster 1, onde se concentra a maioria dos edifícios da amostra, o PAF tem valor semelhante para todas as orientações da fachada. Já o cluster 2 agrupou os edifícios que possuem a fachada cega para as orientações norte e sul.

**Figura 7 - Dendrograma de 14 clusters para 179 edifícios da amostra**



Fonte: os autores.

**Tabela 5- Quantidade de edifícios em cada cluster**

Cluster	N	Representatividade na amostra
1	119 edifícios	66,48%
2	13 edifícios	7,26%
3	6 edifícios	3,35%
4	3 edifícios	1,67%
5	9 edifícios	5,02%
6	4 edifícios	2,23%
7	4 edifícios	2,23%
8	5 edifícios	2,79%
9	1 edifícios	0,55%
10	4 edifícios	2,23%
11	2 edifícios	1,11%
12	4 edifícios	2,23%
13	2 edifícios	1,11%
14	3 edifícios	1,67%

Fonte: os autores.

Tabela 6 - Edifícios representativos de cada cluster e seus respectivos PAFs

Identificação do edifício na amostra	Cluster	PAF norte	PAF sul	PAF leste	PAF oeste
130	1	33%	30%	24%	24%
112	2	0%	0%	61%	36%

Fonte: os autores.

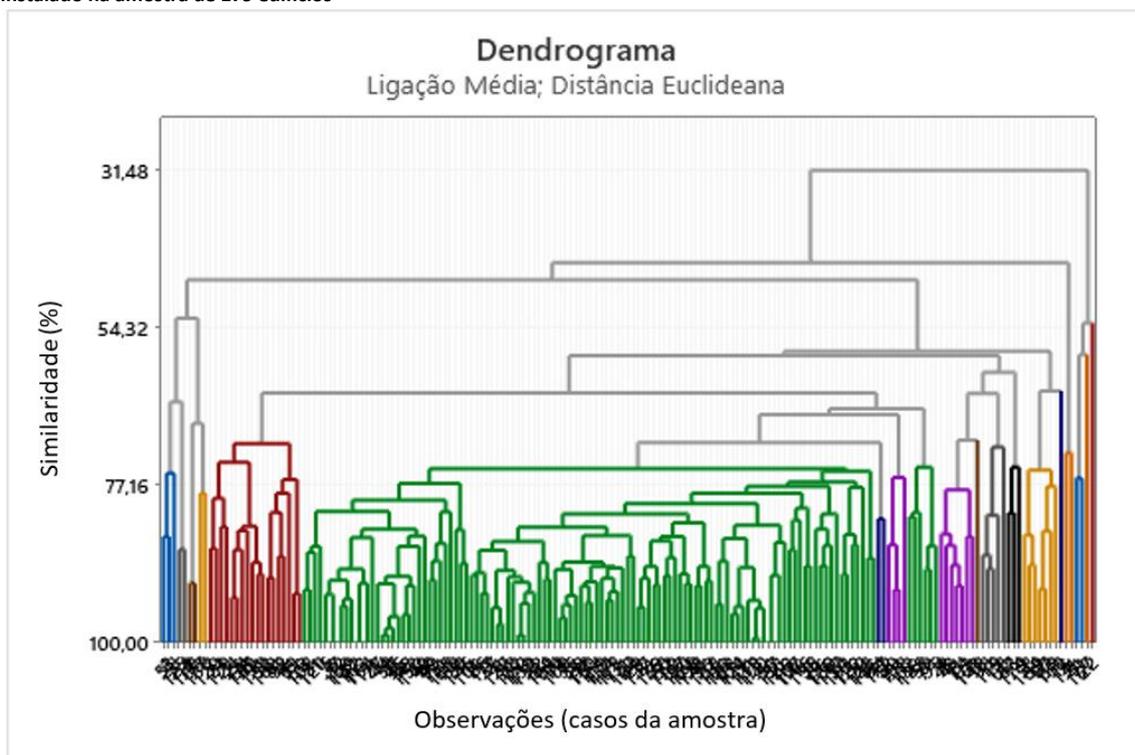
Os clusters 1 e 2, juntos, correspondem a 73,74% da amostra de 179 edifícios analisados. É importante perceber que o PAF do edifício mais próximo do centroide do cluster 1, tomado como representativo da tipologia, corrobora com a faixa mencionada como a mais frequente nos diagramas anteriormente apresentados (Figura 3).

Para validar a diferença entre os clusters as médias dos PAFs foram comparadas por meio do teste ANOVA, que mostrou diferença média entre os clusters altamente significativa, considerando o nível de significância de 0,05 (5%). Para determinar com precisão entre quais clusters ocorre a diferença, foi conduzido o teste *post hoc* de Tukey, que compara os clusters aos pares. Foi possível observar diferenças significativas entre os clusters 1 e 2 para os PAFs Norte, Sul e Leste.

### Análise conjunta das variáveis largura, profundidade, PAF e sistema de condicionamento de ar instalado

Para análise conjunta de todas as variáveis foram realizadas simulações de agrupamento considerando 5 a 20 clusters. O agrupamento em 19 clusters foi eleito como o mais adequado para classificar a amostra de 179 edifícios (Figura 8).

Figura 8 - Dendrograma de 19 clusters para análise conjunta das variáveis largura, profundidade, PAF e sistema de condicionamento de ar instalado na amostra de 179 edifícios



Fonte: os autores.

O cluster 3 (de cor verde), formado por 110 edifícios, representa 61,45%, com similaridade entre os edifícios contidos nele próxima de 75%. A quantidade de edifícios contida em cada cluster é apresentada na Tabela 7.

**Tabela 7 - Quantidade de edifícios em cada cluster para análise conjunta das variáveis largura, profundidade, PAF e sistema de condicionamento de ar instalado na amostra de 179 edifícios**

Cluster	N	Representatividade na amostra
1	3 edifícios	1,67%
2	18 edifícios	10,05%
3	110 edifícios	61,45%
4	7 edifícios	3,91%
5	5 edifícios	2,79%
6	7 edifícios	3,91%
7	1 edifícios	0,56%
8	3 edifícios	1,67%
9	1 edifícios	0,56%
10	3 edifícios	1,67%
11	2 edifícios	1,12%
12	1 edifícios	0,56%
13	6 edifícios	3,35%
14	4 edifícios	2,23%
15	2 edifícios	1,12%
16	2 edifícios	1,12%
17	2 edifícios	1,12%
18	1 edifício	0,56%
19	1 edifício	0,56%

Fonte: os autores.

O sistema de condicionamento de ar, por ser uma variável qualitativa, teve a análise baseada na frequência relativa (percentuais) e a comparação dos clusters foi realizada por meio do teste de Igualdade de Duas Proporções. Foram considerados somente os 5 clusters mais expressivos em quantidade de edifícios. Foi possível concluir que não existe diferença entre os clusters. A comparação dos clusters para a média dos fatores quantitativos de Largura, Profundidade e PAF's, por meio do teste de ANOVA mostra que existe diferença significativa entre os clusters para todas as variáveis analisadas. No entanto, quando aplicado o teste *post hoc* de Tukey, para a variável largura, apenas os clusters 11 e 17 se diferenciam dos demais e para a profundidade apenas os clusters 9 e 17.

Assim, o resultado da análise conjunta sugere que o agrupamento se mostra mais eficiente quando considera separadamente as variáveis, largura e profundidade, PAF e sistema de condicionamento de ar instalado.

## Discussão

Os estudos brasileiros desenvolvidos nos últimos 17 anos, com o uso de modelos de edifícios para simulação e avaliação do consumo de energia foram baseados em edifícios hipotéticos, modelos da literatura internacional, e naqueles onde houve análise de edifícios reais, em sua maioria, envolveram amostras reduzidas.

Os resultados do presente estudo mostram que as características do edifício de escritório típico de Florianópolis, com relação ao PAF, forma e dimensões, diferem dos modelos utilizados em estudos anteriores (Quadro 1) com foco na avaliação do consumo de energia de edifícios de escritórios da cidade. Poucos modelos encontrados na literatura representariam o edifício de escritórios típico de Florianópolis. Alguns estudos como os de Rupp (2011) e Santesso e Chvatal (2018), se aproximam ao utilizar modelos de proporção 1:1 e 1:2 nas dimensões do edifício. No entanto, o PAF de 33% na fachada norte, 30% na fachada sul, e 24% nas fachadas leste e oeste não é explorado em nenhum deles. A diferença encontrada aponta também para a importância da regionalização dos modelos, considerando as dimensões continentais do Brasil, características climáticas e especificidades da legislação do uso do solo em cada cidade/região.

A identificação de edifícios representativos, com embasamento estatístico adequado de acordo com a literatura (Quadro 2), serve de subsídio para outros estudos, possibilita a obtenção de estimativas de uso de energia do edifício referência mais fidedignas à realidade, bem como avaliação mais precisa dos potenciais efeitos de diferentes medidas de conservação de energia em edifícios da mesma categoria.

A análise multivariada do sistema de condicionamento de ar não foi necessária pois, a análise da frequência relativa mostrou que a utilização de sistemas individuais de condicionamento em edifícios de escritório é uma realidade em Florianópolis, o que limita o estudo de outros sistemas dotados de centrais de água gelada. Os sistemas individuais de condicionamento de ar (*split* e aparelhos de janela) foram unificados na análise por possuírem funcionamento e metodologia de cálculo de consumo semelhantes.

## Conclusões

Neste trabalho, discutiu-se o problema de como classificar o parque imobiliário existente a nível urbano para identificar edifícios representativos que possam ser utilizados como referência na avaliação do consumo de energia de uma categoria de edifícios. Foi estudada uma amostra de 197 edifícios comerciais de escritório na cidade de Florianópolis/Brasil, adotando a abordagem *K-means* como metodologia de classificação de 187 edifícios quanto à sua forma e dimensões e 179 edifícios quanto ao PAF. O edifício mais próximo do centroide de cada *cluster* foi determinado como representativo dos grupos.

Como resultado da análise é possível afirmar que os edifícios comerciais de escritório de Florianópolis podem ser representados por plantas de duas formas, em quatro tamanhos distintos (conforme visto na figura 5): (a) quadrado pequeno, medindo 16 m x 15 m e (b) quadrado grande, medindo 23 m x 23 m; (c) retângulo pequeno, medindo 24 m x 15 m e; (d) retângulo grande, medindo 15 m x 34 m. Com relação ao sistema de condicionamento de ar instalado, os edifícios da tipologia utilizam majoritariamente sistemas de condicionamento individual providos por meio de aparelhos de janela e/ou *split*. No que diz respeito ao PAF, o edifício comercial de escritórios típico da cidade de Florianópolis possui 33% de área envidraçada na fachada norte, 30% na fachada sul e 24% nas fachadas leste e oeste.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa algumas limitações foram encontradas. A utilização dos dados enviados pelos órgãos municipais foi inviável, uma vez que não existe um banco de dados sistematizado de informações de edifícios por tipologia. As dimensões medidas são aproximadas, pois foram extraídas de imagens do Google Earth e Google Maps. O estudo não correlacionou a utilização da ventilação natural ao sistema de condicionamento de ar e ao PAF estabelecidos como representativos da tipologia. Assim, apesar de os edifícios da amostra serem climatizados de modo misto (ou com ventilação híbrida), o estudo não analisou a área efetiva de ventilação ou modo de utilização das janelas.

É necessário avaliar a confiabilidade da seleção de edifícios representativos do ponto de vista energético, o que pode ser realizado por meio da simulação de modelos dinâmicos de energia com diferentes edifícios dentro de cada grupo. A partir de então, é viável estabelecer um nível de consumo de energia padrão da tipologia, ou seja, um *benchmark*, com a definição de indicadores de suporte ao desenvolvimento de normas de eficiência e etiquetagem energética de edifícios.

Pesquisas adicionais são necessárias para avaliar o uso da análise multivariada na identificação das características de envoltória, dos sistemas instalados e operação dos edifícios.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Buildings por disponibilizar o banco de dados para esta pesquisa.

## Referências

ALVES, Tatiana Paula. **Energy savings potential of the high-rise office building stock**. A case study of Belo Horizonte, Brazil. 2017. 197 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-ASFEFG>. Acesso em: 10 jan. 2023.

ANDREIS, Cínthia. **Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras**. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/129677>. Acesso em: 10 jan. 2023.

ARAMBULA LARA, Rigoberto; CAPPELLETTI, Francesca; GASPARELLA, Andrea. Selection of Representative Buildings through Preliminary Cluster Analysis. In: INTERNATIONAL HIGH PERFORMANCE BUILDINGS CONFERENCE, 3., 2014, West Lafayette. **Proceedings [...]**. West Lafayette: Purdue University, 1967. 28 p. Disponível em: <http://docs.lib.purdue.edu/ihpbc/137>. Acesso em: 20 dez. 2022.

BAGLIVO, C.; CONGEDO, P. M.; D'AGOSTINO, D.; ZACÀ, I. Cost-optimal analysis and technical comparison between standard and high efficient mono-residential buildings in a warm climate. **Energy**, v. 83, p. 560–575, Apr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.062>.

BESSA, Vanessa Montoro Taborianski. **Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios**. 2010. 263 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-21102010-114255/pt-br.php>. Acesso em: 20 nov. 2022.

BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L.M. Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 734–755, Sept. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.018>.

BRANDÃO DE VASCONCELOS, Ana; PINHEIRO, Manuel Duarte; MANSO, Armando; CABAÇO, António. A Portuguese approach to define reference buildings for cost-optimal methodologies. **Applied Energy**, v. 140, 2012, p. 316–328, Feb. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.11.035>.

BRUGNERA, Rosilene Regolão. **Análise Integrada de desempenho energético, Impacto ambiental e custo: Estudo de soluções de fachada para edifícios de escritórios no Brasil**. 2018. 282 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-31082018-154505/pt-br.php>. Acesso em: 20 nov. 2022.

BRUGNERA, Rosilene Regolão; MATEUS, Ricardo; ROSSIGNOLO, João Adriano; CHVATAL, Karin Maria Soares. Escritórios de planta livre: o impacto de diferentes soluções de fachada na eficiência energética. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 3, p. 295-15, Jul./Sept. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300339>.

BUILDINGS. Pesquisa Imobiliária Inteligente. São Paulo, 2020. Disponível em: <http://www.buildings.com.br/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 215 f. 2008. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil,

Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/91026>. Acesso em: 20 set. 2022.

CARLUCCI, Salvatore; CAUSONE, Francesco; BIANDRATE, Silvia; FERRANDO, Martina; MOAZAMI, Amim; ERBA, Silvia. On the impact of stochastic modeling of occupant behavior on the energy use of office buildings. **Energy and Buildings**, v. 246, p. 111049, Sept. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111049>.

CARVALHO, Marcia Marques de Queiroz. **Alternativas arquitetônicas para o aumento da eficiência no uso de energia elétrica por edifícios comerciais**. 2011. 407 f. Tese (Doutor em Ciências em Planejamento Energético) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: [http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Marcia\\_Marques\\_de\\_Queiroz\\_Carvalho.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Marcia_Marques_de_Queiroz_Carvalho.pdf). Acesso em 20 dez. 2022.

CASSOLA, Fernando; MORGADO, Leonel; COELHO, António; PAREDES, Hugo; BARBOSA, António; TAVARES, Helga; SOARES, Filipe. Using Virtual Choreographies to Identify Office Users' Behaviors to Target Behavior Change Based on Their Potential to Impact Energy Consumption. **Energies**, v. 15, n. 12, June 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15124354>.

CBCS. CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação DEO no Brasil**: Relatório Final. São Paulo: CBCS, 2014. 110 p.

CORGNATI, Stefano Paolo; FABRIZIO, Enrico; FILIPPI, Marco; MONETTI. Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application. **Applied Energy**, v. 102, p. 983-993, Feb. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.001>.

DE BENEDETTO, Gisele Saveriano. **Avaliação da aplicação do modo misto na redução da carga térmica em edifícios de escritórios nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro**. 2007. 203 p. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-17052010-113943/publico/DE\\_BENEDETTO\\_GISELE\\_2007.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-17052010-113943/publico/DE_BENEDETTO_GISELE_2007.pdf). Acesso em: 20 20 out. 2022.

DEB, Chirag; LEE, Siew Eang. Determining key variables influencing energy consumption in office buildings through cluster analysis of pre- and post-retrofit building data. **Energy and Buildings**, v. 159, p. 228-245, Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.007>.

DI TURI, Silvia; STEFANIZZI, Pietro. Energy analysis and refurbishment proposals for public housing in the city of Bari, Italy. **Energy Policy**, v. 79, p. 58-71, Apr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.01.016>.

DUARTE, Vanessa Cavalcanti Paes. **Comparação do Desempenho Energético de Sistemas de Climatização para uma edificação Comercial em Florianópolis/ SC**. 2014. 184 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/128906>. Acesso em 20 nov. 2022.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2020**: Ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em 20 out. 2022.

EVERITT, Brian S.; LANDAU, Sabine; LEESE, Morven; STAHL, Daniel. **Cluster Analysis**. 5th ed. New York: John Wiley, 2011. 330 p.

FAMUYIBO, Albert Adesoji; DUFFY, Aidan; STRACHAN, Paul. Developing archetypes for domestic dwellings — An Irish case study. **Energy and Buildings**, v. 50, p. 150-157, July 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.033>.

FIGUEIREDO, Cíntia Mara de. **Ventilação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**: limites e possibilidades do ponto de vista do conforto térmico. 221 f. 2007. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em:

[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-20052010-112144/publico/Dissertacao\\_Cintia\\_Figueiredo.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-20052010-112144/publico/Dissertacao_Cintia_Figueiredo.pdf). Acesso em: 20 out. 2022.

FIRTH, S. K.; LOMAS, K. J.; WRIGHT, A. J. Targeting household energy efficiency measures using sensitivity analysis. **Building Research and Information**, v. 38, n. 1, p. 25–41, 2010. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/09613210903236706>.

GAITANI, N.; LEHMANN, C.; SANTAMOURIS, M.; IHALAKAKOU, G.; PATARGIAS, P. Using principal component and cluster analysis in the heating evaluation of the school building sector. **Applied Energy**, v. 87, n. 6, p. 2079-2086, June 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.12.007>.

GANGOLELLS, Marta; CASALS, Miguel; FERRÉ-BIGORRA, Jaume; FORCADA, Núria; MACARULLA, Marcel; GASPAR, Kàtia; TEJEDOR, Blanca. Office representatives for cost-optimal energy retrofitting analysis: A novel approach using cluster analysis of energy performance certificate databases. **Energy and Buildings**, v. 206, p. 109557, Jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109557>.

GHIASSI, Neda; MAHDAVI, Ardeshir. Reductive bottom-up urban energy computing supported by multivariate cluster analysis. **Energy and Buildings**, v. 144, p. 372-386, June 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.004>.

IBM. INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES. **SPSS 20 (Statistical Package for Social Sciences)**. Software. Concessão: 2011. Armonk: IBM, 2012.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency: Buildings**, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/cooling/> Acesso em: 20 out. 2022.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do brasil de 1991-2020: recordes de temperatura: 1931-presente**. Brasília: INMET, 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 29 jun. 2022.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Anexo da Portaria INMETRO nº 372/210. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013. Disponível em: [https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010\\_RTQ\\_Def\\_Edificacoes-C\\_rev01.pdf](https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf). Acesso em: 20 nov. 2022.

IPEEC. INTERNATIONAL PARTNERSHIP FOR ENERGY EFFICIENCY COOPERATION. **Delivering Energy Savings in Buildings, 2015**. France: IPEEC, 2015. Disponível em: <https://apo.org.au/sites/default/files/resource-files/2015-11/apo-nid198521.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

KAVGIC, M.; MAVROGIANNI, A.; MUMOVIC, D.; SUMMERFIELD, A.; STEVANOVIC, Z.; DJUROVIC-PETROVIC, M. A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. **Building and Environment**, v. 45, n. 7, p. 1683-1697, July 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.021>.

KAVULYA, G.; BECERIK-GERBER, B. Understanding the Influence of Occupant Behavior on Energy Consumption Patterns in Commercial Buildings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2012, Clearwater. **Proceedings [...]**. Clearwater: ASCE, 2012. p. 569-576.

KNEIFEL, Joshua. Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 3, p. 333-340, Mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.011>.

LEDESMA, Gabriela; PONS-VALLADARES, Oriol; NIKOLIC, Jelena. Real-reference buildings for urban energy modelling: A multistage validation and diversification approach. **Building and Environment**, v. 203, p. 108058, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108058>.

LEE, W. L.; YIK, F. W.H. Regulatory and voluntary approaches for enhancing building energy efficiency. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 30, n. 5, p. 477-499, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.03.002>.

LINDEN, Ricardo. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, Macaé, v. 4, p. 18–36, 2009. Disponível em: [https://www.fsma.edu.br/si/edicao4/FSMA\\_SI\\_2009\\_2\\_Tutorial.pdf](https://www.fsma.edu.br/si/edicao4/FSMA_SI_2009_2_Tutorial.pdf). Acesso em 10 nov. 2022.

MARCONDES, Mônica Pereira. **Soluções Projetuais de Fachadas para Edifícios de Escritórios com Ventilação Natural em São Paulo**. 244 f. 2010. Tese (Doutor em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-10112010-102255/publico/TESE\\_MARCONDES\\_MP\\_2010.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-10112010-102255/publico/TESE_MARCONDES_MP_2010.pdf). Acesso em: 20 out. 2022.

MELO, A. P.; CÓSTOLA, D.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Development of surrogate models using artificial neural network for building shell energy labelling. **Energy Policy**, v. 69, p. 457-466, June 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.001>.

MINITAB for windows - Version Release 16. State College, 2010.

PAONE, Antonio; BACHER, Jean-Philippe. The Impact of Building Occupant Behavior on Energy Efficiency and Methods to Influence It: A Review of the State of the Art. **Energies**, v. 11, n. 4, Apr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11040953>.

PIERI, Stella Panayioti; TZOUVADAKIS, Ioannis; SANTAMOURIS, Mat. Identifying energy consumption patterns in the Attica hotel sector using cluster analysis techniques with the aim of reducing hotels' CO<sub>2</sub> footprint. **Energy and Buildings**, v. 94, p. 252-262, May 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.017>.

PINTO, Mônica Martins. **Desempenho Energético De Edifícios De Escritórios Com Vidros Insulados Em Climas Brasileiros**. 237 f. 2017. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – Centro Tecnológico, Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/185508>. Acesso em: 20 set. 2022.

PIRRÓ, Lúcia Fernanda de Souza. **O impacto das envoltentes verticais no desempenho energético de edifícios de escritórios**. 2005. 171 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RAFSANJANI, Hamed Nabizadeh; AHN, Changbum R; ALAHMAD, Mahmoud. A Review of Approaches for Sensing, Understanding, and Improving Occupancy-Related Energy-Use Behaviors in Commercial Buildings. **Energies**, v. 8, n. 10, p. 10996-11029, Oct. 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/en81010996>.

RUPP, Ricardo Forgiarini. **Dimensionamento de área de janela em edificações comerciais: integração da iluminação natural com a artificial e utilização da ventilação híbrida**. 212 f. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/95037>. Acesso em: 20 set. 2022.

SANTANA, Marina Vasconcelos. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC**. 181 f. 2006. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/88694>. Acesso em: 20 set. 2022.

SANTESSO, Caroline Antonelli; CHVATAL, Karin Maria Soares. Consumo energético de salas de escritório climatizadas de modo misto em São Paulo: considerações sobre o projeto. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 4, p. 119-137, out. /dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400297>.

SCHAEFER, Aline; GHISI, Enedir. Method for obtaining reference buildings. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 660-672, Sept. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.001>.

SOOMRO, Altaf Mazhar; PARYANI, Suresh; REHMAN, Junaid; Influencing Human Behaviour to Optimise Energy in Commercial Buildings. In: AUSTRALASIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS, 30. 2019, Perth. **Proceedings**

[...]. Perth: ACIS, 2019. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1094&context=acis2019>. Acesso em: 20 nov. 2022.

TARDIOLI, Giovanni; KERRIGAN, Ruth; OATES, Mike; O'DONNELL, James; FINN, Donald P. Identification of representative buildings and building groups in urban datasets using a novel pre-processing, classification, clustering and predictive modelling approach. **Building and Environment**, v. 140, p. 90-106, Aug. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.035>.

VELOSO, Ana Carolina de Oliveira. **Avaliação do consumo de energia elétrica de edificações de escritórios e sua correlação com as decisões de projeto**. 125 f., 2017. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-ASFEMQ/1/texto\\_ana\\_caroilna\\_de\\_oliveira\\_veloso.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-ASFEMQ/1/texto_ana_caroilna_de_oliveira_veloso.pdf). Acesso em 20 dez. 2022.

WESTPHAL, Fernando Simon. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. 131 f. 2007. Tese (Doutor em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: [https://labeec.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE\\_Fernando\\_Simon\\_Westphal.pdf](https://labeec.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Fernando_Simon_Westphal.pdf). Acesso em: 20 nov. 2022.

ZIMMERMANN, Gerhard. Modeling and Simulation of Individual User Behavior for Building Performance Predictions. In: SUMMER COMPUTER SIMULATION CONFERENCE, 7. 2007, San Diego. **Proceedings [...]**. San Diego: SIGSIM, 2007. p. 913-920.

---

#### 1 **Fernanda Selistre da Silva Scheidt**

Arquiteta e Urbanista. Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina. Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal de Santa Catarina. Endereço postal: R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n - Trindade, Florianópolis, SC - Brasil. CEP 88040-900.

#### 2 **Fernando Simon Westphal**

Engenheiro Civil. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor Associado na Universidade Federal de Santa Catarina. Endereço postal: R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n - Trindade, Florianópolis, SC - Brasil. CEP 88040-900.