

O impacto da ocupação no desempenho de *Smart Buildings*: revisão sistemática da literatura

The impact of occupancy on the performance of Smart
Buildings: systematic literature review

Glauber da Paz Moreira

Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | gpm.paz@gmail.com

Michele Tereza Marques Carvalho

Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | micheletereza@gmail.com

Resumo

O conceito de Edifícios Inteligentes (Smart Buildings) centra-se em atender às necessidades do usuário e otimizar, através da tecnologia, o equilíbrio entre essas e o desempenho da edificação. Embora os sistemas de controle inteligentes tenham potencial significativo de impacto no desempenho dos edifícios, há escassez de estudos e aplicações em edifícios residenciais. Este estudo objetivou realizar revisão sistemática da literatura para mapear parâmetros relacionados ao desempenho de Smart Buildings residenciais e sua interconexão com necessidades do usuário, propondo fluxo de trabalho sistemático focado no desenvolvimento nesse domínio. A metodologia envolveu processo de categorização documental, utilizando critérios predefinidos para seleção dos estudos e construção de fluxograma estruturado. Concluiu-se que o conceito de desempenho se dá principalmente sob a perspectiva do consumo energético, prioritariamente nos sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAc) restritos, em sua maioria, à previsão da ocupação baseada em simulações e bases de dados variadas e segmentadas. O fluxograma desenvolvido abrange quatro etapas e propõe início a partir de categorização crítica sobre os aspectos que são influenciados pelo usuário para definir requisitos de desempenho baseados em dados estruturados. Estes requisitos, proporcionam desenvolvimento de equipamentos e soluções inteligentes, que aplicadas em edificações inteligentes, incentivam ciclo de melhoria contínua.

Palavras-chave: *Edifícios inteligentes. ocupação. edifícios residenciais. desempenho de edifícios.*

Abstract

The concept of Smart Buildings is centered on addressing the user's needs and leveraging technology to optimize the balance between these needs and building performance. Despite



Como citar:

MOREIRA, G. da P.; CARVALHO, M. T. M. O impacto da ocupação no desempenho de *Smart Buildings*: revisão sistemática da literatura. TECSIC 2023. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS, 23 e 24 AGO 2023, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 18-26.

intelligent control systems exhibit significant potential to impact building performance, there is a scarcity of studies and applications in this field, considering residential buildings. This study aimed to conduct a systematic literature review to map the parameters pertaining to performance in residential Smart Buildings and their interconnectedness with user requirements, proposing a systematic workflow to develop advancements in this domain. The methodology involved process of document categorization, employing predefined criteria for study selection, and subsequent construction of a structured flowchart. The findings underscored that the notion of performance primarily revolves around energy consumption, predominantly within restricted systems such as heating, ventilation, and air conditioning (HVAC), relying on occupancy prediction based on simulations from diverse and segmented databases. The developed flowchart encompasses four stages and emphasizes commencing with a critical categorization of user-influenced aspects to establish performance requirements based on structured databases. These requirements culminate in the development of smart equipment and solutions that, when implemented within Smart Buildings, foster a cycle of continuous improvement.

Keywords: *Smart Buildings. occupancy. residential buildings. building performance.*

INTRODUÇÃO

O conceito de *smart building* foca na melhoria das condições de uso de um edifício sob a perspectiva do usuário da edificação. A motivação, de acordo com [1], se relaciona com a persistência de problemas como baixo nível de conforto, dificuldade de operação do edifício, baixo nível de segurança e questões atreladas à saúde, apesar de algumas tecnologias apresentarem certo nível de controle personalizado.

Conforme [2], os principais objetivos funcionais de *smart buildings* contemplam o conforto interno do usuário, manutenção proativa de equipamentos (facilidade de gerenciamento), a eficiência energética e serviços baseados em localização. Em um *smart building*, segundo [3], existe a busca pelo equilíbrio entre os requisitos do usuário, o conforto e o consumo de energia, diferentemente de *green buildings*, que têm o foco no impacto ambiental, ou *net zero buildings*, que se fundamentam no suprimento da própria energia consumida.

A partir dos estudos de [4] e [2], integra-se ao conceito de *smart building* a tecnologia avançada conectada aos sistemas dos edifícios, possibilitando controle remoto e eficiente em termos de custo e energia, atualmente encontrados em sistemas automatizados de aquecimento, resfriamento e ventilação. Nesse contexto, destacam-se dois aspectos principais: o protagonismo do usuário e o uso de tecnologia para o equilíbrio entre o desempenho da edificação e as necessidades do usuário.

Quanto ao usuário, na literatura, estudos como os de [5] e [6], indicam grande variabilidade da ocupação em relação à uma edificação além de apontarem que o desempenho pode ser afetado em diversos aspectos como o consumo de água, qualidade do ar, conforto térmico dentre outros.

Quanto ao uso da tecnologia, verifica-se o desenvolvimento de tecnologias abrangendo inteligência artificial e outras técnicas para previsão da ocupação, tais como refletidos nos trabalhos de [7], [8] e [9]. Entretanto, [1] indicou que implementações em campo de *smart buildings* residenciais têm sido pouco estudadas

e aplicadas, apesar de este setor ser responsável por 30% do consumo mundial de energia, conforme [10].

Portanto, a partir da interconexão entre o usuário e o desempenho de uma edificação, a motivação do estudo é realizar um mapeamento sistemático da literatura à procura de parâmetros relevantes de desempenho sob a perspectiva do usuário, no sentido de motivar o desenvolvimento científico, tecnológico e comercial dos sistemas e aplicações inteligentes a partir da proposição de fluxograma de trabalho sistematizado.

METODOLOGIA

A metodologia adotada para conduzir este estudo é o mapeamento sistemático da literatura (MSL). Este, consiste na obtenção de informações livres de vícios e subjetividade, avaliando a temática em estudo e, conforme [11], pode identificar lacunas relacionadas ao tema investigado.

As etapas seguidas para este mapeamento foram definidas à luz do trabalho de [12], abrangendo: definição das palavras-chave, aceção dos critérios de seleção dos artigos e extração da informação.

Para determinação das palavras-chave, com base no estudo de [12], utilizou-se o método analítico P.I.C.O. (*Population, Intervention, Comparison e Outcomes*), em português: População, Intervenção, Comparação e Resultados. A população considerada foi *smart buildings* residenciais, para a intervenção, considerou-se as condições de contorno relacionadas com a ocupação e o desempenho das edificações. A comparação e resultados estão associados aos resultados desejados do mapeamento sistemático, viabilizando elaboração do fluxograma requerido. Portanto, as palavras-chave determinadas foram: *smart buildings; occupancy residential buildings e building performance*. A partir disso, foram consideradas para a busca, as plataformas *Scopus* e a *Web of Science*, visando publicações internacionais.

A busca considerou operadores booleanos da seguinte maneira: *smart buildings AND occupancy AND residential buildings AND building performance AND NOT non-residential*.

Em seguida, foi realizada a categorização e seleção dos artigos a partir do refinamento dos documentos encontrados restringindo-se aos últimos 5 anos (2018 a 2023), a artigos de periódicos, congressos e revisões da literatura. Após exclusão de artigos duplicados, realizou-se a leitura de títulos, resumos e palavras-chave, nesta ordem, com intuito de verificar aderência com o escopo definido para o estudo. Por fim extraiu-se as principais contribuições de cada publicação e foi realizada discussão do fluxograma para desenvolvimento de trabalhos futuros.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da metodologia de busca, as duas plataformas mencionadas apresentaram o número de 98 documentos para as temáticas de ocupação e desempenho, sendo 20

documentos na *Web of Knowledge* e de 78 na *Scopus*. Após a remoção de estudos duplicados, o número total de documentos remanescentes foi de 89, ou seja, houve duplicidade de 11 documentos. As etapas de leitura de títulos, resumos e palavras-chave, selecionaram estudos com base no critério de estudos com enfoque quantitativo e que relacionassem o usuário de uma edificação inteligente com o desempenho dessa. Após esta etapa, foram selecionados 22 documentos.

Os estudos selecionados estratificaram-se em artigos (14) seguidos de publicações de conferências (6) e revisões de literatura (2). O maior volume de publicações se deu nos anos de 2020 e 2022 e a maioria das publicações ficaram concentradas na Europa e América do Norte, seguidos da região asiática.

A leitura dos estudos selecionados permitiu identificar 3 enfoques principais: trabalhos relacionados à análise de desempenho pelo consumo de energia, estudos focados no desempenho de métodos de previsão da ocupação e a terceira abordagem se deu por associações do usuário ou desempenho a aspectos ligados à qualidade do ar, custos e/ou aplicabilidade de soluções inteligentes em *smart buildings*. O Quadro 1 sumariza os principais parâmetros quantitativos utilizados para avaliação do desempenho e principal contribuição dos estudos mais relevantes selecionados.

Cabe o destaque para a grande variabilidade de métodos e parâmetros de avaliação do desempenho. Além disso, a maioria dos estudos selecionados trabalharam a nível de simulação/modelagem a partir de bases de dados diversas ou segmentadas, o que indica a falta de aplicações de casos reais, conforme indicado por [1]. Nesse sentido, os estudos selecionados indicam que a interconexão entre o desempenho e o usuário por meio da tecnologia ainda é conceitual.

Quadro 1: Parâmetros quantitativos utilizados e/ou mencionados

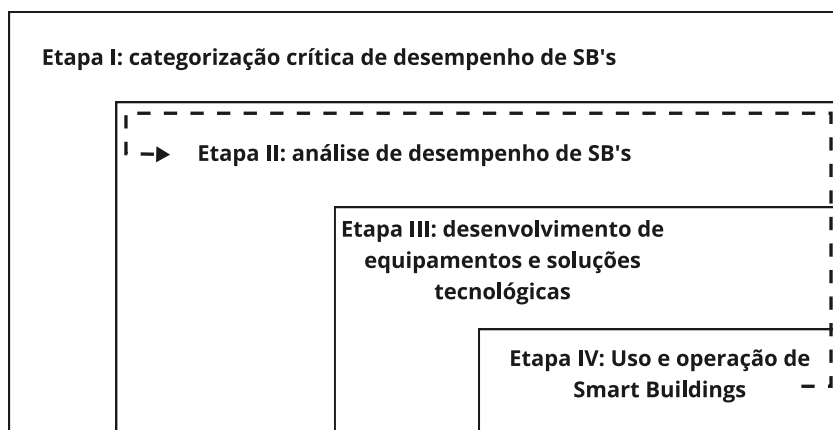
Autores/Ano	Parâmetros de avaliação	Desempenho	Principal contribuição
[9] /2020	KWh	Consumo de energia	concluiu, a partir de simulação de previsão de carga e consumo de equipamentos de edifício em Memphis, que modelos automatizados capazes de prever e retroalimentar o status da ocupação, são mais efetivos com inteligência artificial
[13] /2018	umidade % de CO2 % de compostos orgânicos voláteis	Qualidade do ar	consolidou trabalhos sobre a qualidade do ar de sistemas de ventilação inteligentes e validou que este tipo de técnica pode além de reduzir consumo energético, melhorar a qualidade do ar
[14] /2021	Intensidade do uso de Energia (IUE) - KWh/m ² % economia de energia tempo de uso de equipamentos de AVAc	Consumo de energia	concluiu, por meio de simulações em diferentes climas, que uma estratégia de controle efetiva é configurar uma temperatura base para períodos sem ocupação, garantindo o conforto térmico do usuário

[15] /2019	tempo de operação de termostatos	Consumo de energia	apontou limitações para a redução do consumo em edifícios inteligentes: a falta de acessibilidade, facilidade de instalação de equipamentos inteligentes e dificuldade de previsão da ocupação
[16] /2020	KWh diário/mensal	Consumo de energia	simulou consumo de energia mensal e diário e concluiu que a inteligência artificial torna a previsão de consumo energético, mais efetiva
[17] /2022	sem parâmetro quantitativo	Conforto térmico	associou modelos de previsão de ocupação com avaliação de conforto térmico, por meio de modelos probabilísticos de preferências do usuário
[18] /2022	sem parâmetro quantitativo	Consumo de energia	avaliou modelagens de consumo de energia de edifícios urbanos
[19] /2020	% de CO2 sinais de infravermelho	Consumo de energia & custos	avaliou o consumo de energia e conforto térmico de sistemas de aquecimento automatizados alterando a previsão e ocupação, baseada na concentração de dióxido de carbono e sinais de infravermelho
[20] /2020	custo de gás natural por KWh em sistemas de aquecimento e resfriamento	Consumo de energia & custos	avaliaram a redução do consumo de energia e associações com o custo desta economia, porém a partir de perfis de ocupação advindos de bases de dados
[21] /2020			

Fonte: o autor.

Partindo dos estudos mapeados no Quadro 1, as conclusões motivadas pelas contribuições dos estudos permitiram vislumbrar um fluxograma para desenvolvimento de trabalhos científicos futuros, focados na sistematização do desenvolvimento de aplicações que fundamentem com dados reais o conceito de *Smart Building* evidenciado pela literatura. O referido fluxo de trabalho foi dividido em quatro etapas, que se relacionam conforme a Figura 2 a seguir.

Figura 2: Fluxograma elaborado para desenvolvimento científico futuro



Fonte: o autor.

A Figura 3 ilustra, para a Etapa I (Figura 2), a categorização crítica com dados do Quadro 1. O objetivo é investigar a influência do usuário no desempenho pela separação de parâmetros quantitativos com impacto direto da ocupação. Esta categorização é necessária para apontar quais parâmetros são relevantes para diferentes tipos de desempenho. A referida figura indica reticências para evidenciar as lacunas existentes no tema, considerado o amplo conceito de desempenho, como mencionado por [22].

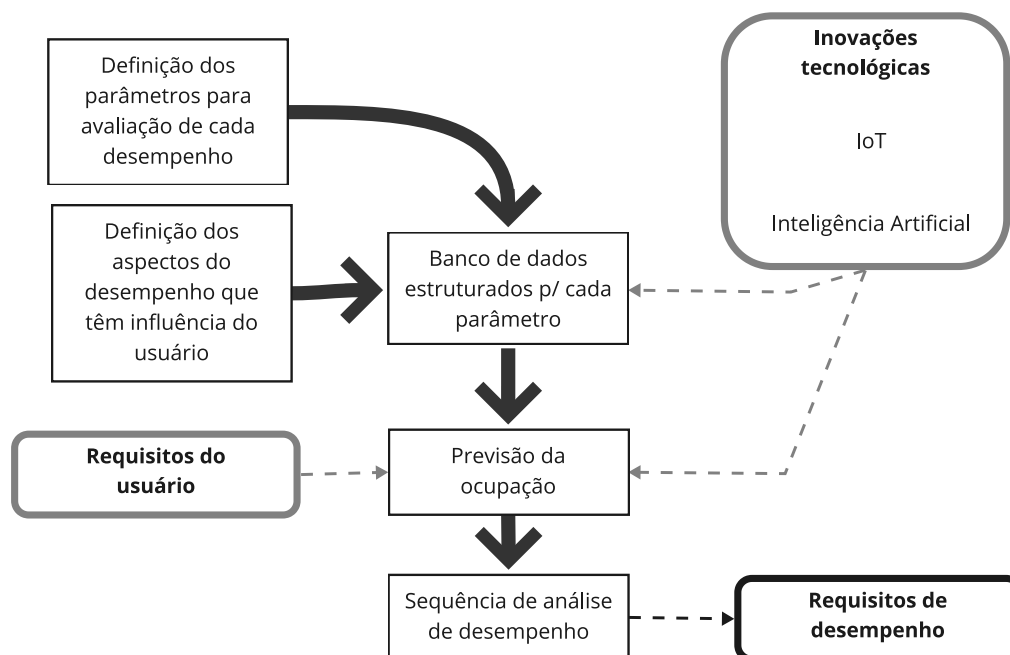
Figura 3: Etapa I: categorização crítica do desempenho de *Smart Buildings* (SB's)

I - DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO	Consumo de energia	Conforto Térmico	Qualidade do ar	Custos de operação	...
	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim / Não
III - PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO	KWh mensal/diário	% de CO2	umidade relativa	\$/KWh	...
	IUE = KWh/m²	Infravermelho	% de CO2	...	
	H de uso equip.	...	% comp. orgânicos		
		

Fonte: o autor.

A Figura 4 sugere para a Etapa II a análise do desempenho de *smart buildings*, considerando a categorização crítica realizada sob a perspectiva da ocupação. A partir dos requisitos do usuário e de inovações tecnológicas (Internet das coisas – IoT e/ou Inteligência Artificial), será possível estruturação de bases de dados para uma sequência de análise de desempenho parametrizada em função do usuário (tanto em requisitos quanto em ocupação), padronizando, desta forma, requisitos de desempenho ajustados para o usuário da edificação.

Figura 4: Etapa II: análise de desempenho de *Smart Buildings* (SB's)

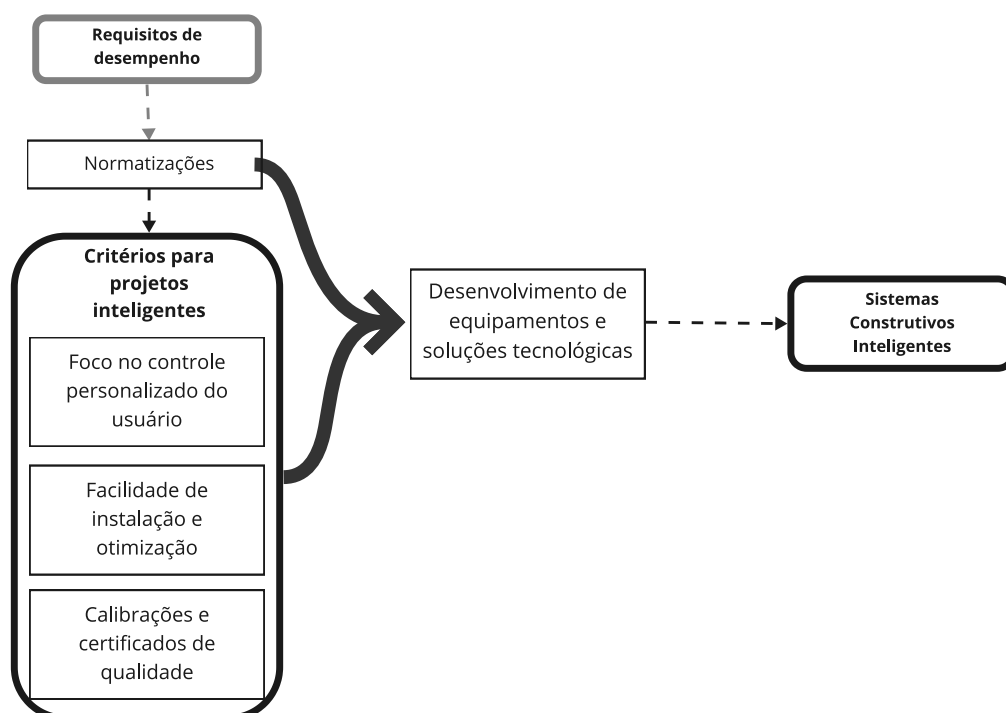


Fonte: o autor.

Em sequência, para a Etapa III, a Figura 5 mostra necessidade de desenvolvimento de equipamentos e soluções tecnológicas, partindo da normatização e critérios de projetos inteligentes baseados nos requisitos de desempenho determinados na etapa anterior. O objetivo é possibilitar avaliação padronizada da eficiência de componentes por meio de certificados de calibração e de qualidade, integrando-os a sistemas construtivos inteligentes com previsibilidade de desempenho padronizada. Neste sentido, o fluxograma busca preencher uma lacuna verificada na literatura: os variados métodos ainda não permitem comparações entre si e não se pode afirmar que os sistemas de controle inteligentes realmente são balizados pelo usuário, conforme conceitualmente é definido pela literatura.

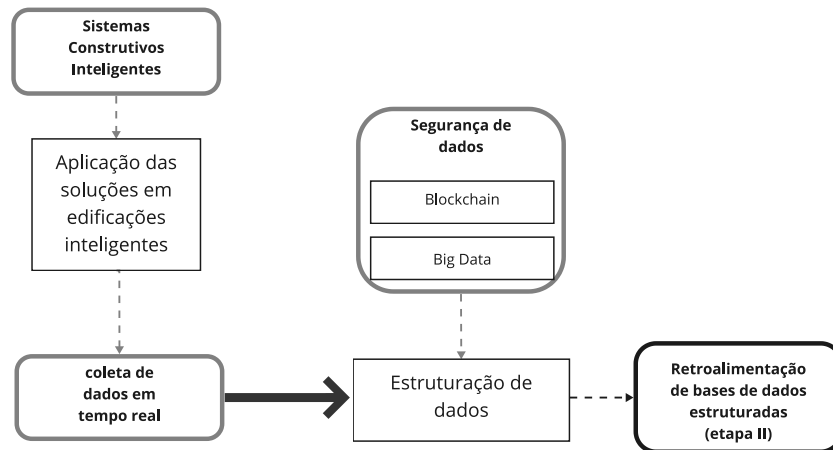
Por fim, a Etapa IV do fluxograma (Figura 6) trata do uso e operação de *smart buildings*, caracterizado pela aplicação das soluções em edificações inteligentes em conjunto com a coleta de dados em tempo real para retroalimentação das bases de dados utilizadas nas análises de desempenho da Etapa II. Neste sentido, o fluxograma busca a melhoria contínua e destaca-se a importância da estruturação de dados seguros para garantia da privacidade do usuário.

Figura 5: Etapa III: desenvolvimento de soluções tecnológicas



Fonte: o autor.

Figura 6: Etapa IV: uso e operação de Smart Buildings



Fonte: o autor.

Conclui-se que o desempenho em *smart buildings* ainda não é padronizado e trabalha o consumo de energia como principal fator do desempenho afetado pelo usuário (Quadro 1). Além disso, a grande variabilidade de métodos de avaliação do desempenho, da previsão da ocupação e escassez de dados baseados em casos reais mostram que a interconexão entre o usuário e o desempenho de uma edificação ainda é conceitual. No viés de motivar o desenvolvimento científico, tecnológico e comercial dos sistemas e aplicações inteligentes, foi proposto fluxograma de trabalho sistematizado que inicia a partir de categorização crítica sobre a interferência do usuário no desempenho e assim, viabilizando a estruturação de base de dados estruturada para determinar requisitos e normatização de critérios de projeto parametrizados pelo usuário e que permitam a melhoria contínua.

AGRADECIMENTOS

Universidade de Brasília.

REFERÊNCIAS

- [1] PARK, J. Y. et al. **A critical review of field implementations of occupant-centric building controls**. Building and Environment. Elsevier Ltd, 1 nov. 2019.
- [2] JIA, M. et al. **Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications**. Automation in Construction, v. 101, p. 111–126, 1 maio 2019.
- [3] MARIANO-HERNÁNDEZ, D. et al. **A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis**. Journal of Building Engineering. Elsevier Ltd, 1 jan. 2021.
- [4] BAŠIĆ, S.; STRMO, N. V.; SLADOLJEV, M. **Smart cities and buildings**. Gradjevinar Union of Croatian Civil Engineers and Technicians, 2019.
- [5] RANA, A. et al. **Energy efficiency in residential buildings amid COVID-19: A holistic comparative analysis between old and new normal occupancies**. Energy and Buildings, v. 277, 15 dez. 2022.
- [6] SZCZUREK, A.; DOLEGA, A.; MACIEJEWSKA, M. **Profile of occupant activity impact on indoor air — method of its determination**. Energy and Buildings, v. 158, p. 1564–1575, 1 jan. 2018.

- [7] FU, J. et al. **Identifying residential building occupancy profiles with demographic characteristics: using a national time use survey data.** *Energy and Buildings*, v. 277, 15 dez. 2022.
- [8] DAI, X.; LIU, J.; ZHANG, X. **A review of studies applying machine learning models to predict occupancy and window-opening behaviours in smart buildings.** *Energy and Buildings*. Elsevier Ltd, , 15 set. 2020.
- [9] ALAM, S. M. M.; ALI, M. H. **A New Fuzzy Logic Based Method for Residential Loads Forecasting.** *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 12 out. 2020.
- [10] AKHAVAN SHAMS, S.; AHMADI, R. **Dynamic optimization of solar-wind hybrid system connected to electrical battery or hydrogen as an energy storage system.** *International Journal of Energy Research*, v. 45, n. 7, p. 10630–10654, 10 jun. 2021.
- [11] AGOSTINHO, H. L.; ARGÔLO, E. C. D. **Mapeamento sistemático de literatura sobre parceria público-privada.** XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção, 2016.
- [12] AGOSTINHO, H. L.; GRANJA, A. D. **Comparação de modelos contratuais na construção civil: um mapeamento sistemático de literatura.** XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção, 2016.
- [13] GUYOT, G.; SHERMAN, M. H.; WALKER, I. S. **Smart ventilation energy and indoor air quality performance in residential buildings: A review.** *Energy and Buildings*. Elsevier Ltd, , 15 abr. 2018.
- [14] PANG, Z. et al. **How much HVAC energy could be saved from the occupant-centric smart home thermostat: A nationwide simulation study.** *Applied Energy*, v. 283, 1 fev. 2021.
- [15] STOPPS, H.; TOUCHIE, M. F. **Reduction of HVAC system runtime due to occupancy-controlled smart thermostats in contemporary multi-unit residential building suites.** *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing, 23 out. 2019.
- [16] S. M. MAHFUZ ALAM; MOHD. HASAN ALI. **A New Subtractive Clustering Based ANFIS System for Residential Load Forecasting.** 2020 IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT 2020. Memphis, EUA.
- [17] MEIMAND, M.; JAZIZADEH, F. **Human-in-the-Loop Model Predictive Operation for Energy Efficient HVAC Systems.** *Construction Research Congress 2022: Infrastructure Sustainability and Resilience - Selected Papers from Construction Research Congress 2022*.
- [18] FERRANDO, M. et al. **UBEM's archetypes improvement via data-driven occupant-related schedules randomly distributed and their impact assessment.** *Sustainable Cities and Society*, v. 87, 1 dez. 2022.
- [19] SHIN, M. S.; RHEE, K. N.; JUNG, G. J. **Optimal heating start and stop control based on the inferred occupancy schedule in a household with radiant floor heating system.** *Energy and Buildings*, v. 209, 15 fev. 2020.
- [20] RODRÍGUEZ-PERTUZ, M. L. et al. **Feasibility of zonal space heating controls in residential buildings in temperate climates: Energy and economic potentials in Spain.** *Energy & Buildings*, v. 218, p. 6, 2020.
- [21] MCKEE, E. et al. **Deep reinforcement learning for residential hvac control with consideration of human occupancy.** *IEEE Power and Energy Society General Meeting*. IEEE Computer Society, 2 ago. 2020.
- [22] DE WILDE, P. **Ten questions concerning building performance analysis.** *Building and Environment*, v. 153, p. 110–117, 15 abr. 2019.