XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

# Implementação de um *living laboratory* para avaliações de conforto humano e desempenho energético em um escritório compartilhado

## *Implementación de un living laboratory para evaluaciones de confort humano y desempeño energético en una oficina compartida*

## *Implementation of a living laboratory for human comfort and energy performance assessments in a shared office*

Área temática / *Área temática / Thematic Area*

***Langer, Matheus Araujo***
LabEEE/UFSC, Florianópolis, Brasil, matheus.araujo.langer@gmail.com

***Bavaresco, Mateus***
Dr, LabEEE/UFSC, Florianópolis, Brasil, bavarescomateus@gmail.com@gmail.com

***Melo, Ana Paula***
Dra, LabEEE/UFSC, Florianópolis, Brasil, a.p.melo@ufsc.br

***Lamberts, Roberto***
PhD, LabEEE/UFSC, Florianópolis, Brasil, roberto.lamberts@ufsc.br

## Resumo

A demanda por ambientes de trabalho sustentáveis e confortáveis tem crescido. Nesse cenário, os *living laboratories* surgem como alternativa para monitorar, em tempo real, a qualidade ambiental interna e o consumo energético de edificações. Em escritórios compartilhados, as diferenças individuais tornam essencial o controle ambiental personalizado. Este artigo propõe um *living lab* para avaliar variáveis como temperatura e umidade relativa do ar, concentração de CO2 e iluminância, analisando também o consumo energético dos sistemas. O objetivo é gerar uma base de dados com interface interativa para orientar soluções eficientes, integrando diferentes tipos de sensores à plataforma aberta *Home Assistant*, bem como a coleta de respostas subjetivas dos usuários. Concluiu-se que a implementação de um *living lab* promove avanços na avaliação integrada do conforto humano e do desempenho de edificações, auxiliando na formulação de estratégias mais sustentáveis e centradas nas necessidades dos usuários.

Palavras-chave: Consumo energético. Qualidade ambiental. *Home Assistant*. *Living laboratory*.

## *Resumen*

La demanda por entornos de trabajo sostenibles y confortables ha ido en aumento. Los *living laboratories* surgen como alternativa para monitorear, en tiempo real, la calidad ambiental interior y el consumo energético de los edificios. En oficinas compartidas, las diversas necesidades individuales hacen esencial el control ambiental personalizado. Este artículo propone un *living lab* para evaluar variables como temperatura y humedad relativa del aire, concentración de $CO_2$ e iluminancia, analizando también el consumo energético de los sistemas. El objetivo es generar una base de datos con una interfaz interactiva que oriente soluciones eficientes, integrando diferentes tipos de sensores a la plataforma abierta *Home Assistant*, así como la recopilación de respuestas subjetivas de los usuarios. Se concluye que la implementación de un *living lab* promueve avances en la evaluación integrada del confort y el rendimiento de los edificios, contribuyendo a la formulación de estrategias sostenibles y centradas en los usuarios.

Palabras clave: Consumo de energía. Calidad ambiental. *Home assistant. Living laboratory.*

## *Abstract*

The demand for sustainable and comfortable work environments has been increasing. In this context, living laboratories emerge as an alternative to monitor, in real time, indoor environmental quality and the energy consumption of buildings. In shared offices, varied individual needs make personalized environmental control essential. This article proposes a living lab to evaluate variables such as air temperature and relative humidity, $CO_2$ concentration, and illuminance, while also analyzing the energy consumption of building systems. The objective is to generate a database with an interactive interface to support efficient solutions, integrating different types of sensors into the open-source Home Assistant platform, along with the collection of users' subjective responses. It is concluded that the implementation of a living lab advances the integrated assessment of human comfort and building energy performance, contributing to the formulation of more sustainable strategies centered on users' needs.

Keywords: Energy consumption. Environmental quality. Home Assistant. Living laboratory.

## Introdução

A literatura científica enfatiza a quantidade significativa de tempo que as pessoas passam em edificações. É necessário, portanto, garantir que as condições ambientais internas sejam confortáveis e saudáveis aos seus ocupantes. A percepção subjetiva da qualidade ambiental interna influencia diretamente o bem-estar e a capacidade dos usuários de desempenharem suas funções nas edificações (Chen *et al.*, 2020). Além disso, os níveis de satisfação desses ocupantes estão ligados à maneira com as quais os sistemas ativos da edificação são ajustados, implicando em consumo energético para melhorar essas condições. De maneira geral, a literatura internacional evidencia a necessidade de conhecer as expectativas e preferências dos usuários, visando propor alternativas e soluções centradas nessas necessidades (Yan *et al.*, 2017). Soluções baseadas unicamente em critérios técnicos e de desempenho da edificação podem ter sua efetividade minimizada, caso o comportamento dos usuários implique desempenhos distintos aos estimados durante o projeto da edificação (Yoshino; Hong; Nord, 2017).

Para conhecer as expectativas e preferências dos usuários, é necessário aplicar métodos de pesquisa que permitam coletar informações contextuais. Essas avaliações são comumente realizadas em estudos de campo e em ambientes controlados, como salas de teste e câmaras climáticas (Pisello *et al.*, 2021). Em estudos de campo, os usuários podem apresentar tendências de desejabilidade social, ao reportarem comportamentos ou expectativas diferentes das praticadas (Bavaresco *et al.*, 2020). Em ambientes controlados, os participantes de pesquisa também podem apresentar tendências de desejabilidade social em suas respostas, além da exposição a um ambiente pouco real.

Recentemente, os *living laboratories* estão ganhando espaço em estudos de conforto humano e desempenho de edificações como uma alternativa a estudos de campo tradicionais e ambientes controlados. Considerando sua infraestrutura permanente, esses espaços permitem realizar avaliações em condições comuns de ocupação, com ocupantes já adaptados às características e especificidades do local. É esperado, portanto, que aspectos subjacentes como o efeito de *Hawthorne* (em que o comportamento das pessoas muda por saberem que estão sendo observadas) seja minimizado ao longo do tempo pelo fato de os ocupantes de um *living lab* não são constantemente lembrados do monitoramento, como ocorre em estudos pontuais em campo ou em experimentos controlados. A experiência internacional demonstra a existência de

diferentes tipologias de *living lab* no setor de edificações, tais como: residencial (Woods; Korsnes, 2019), universitário (Cottafava *et al*., 2019), escritórios (Lin; Kokogiannakis, 2021). No entanto, os *living labs* ainda estão concentrados fora do Brasil, o que limita a aplicabilidade direta dos resultados à nossa realidade, considerando as diferenças culturais, climáticas e de infraestrutura. Além disso, os custos associados à implementação e manutenção de infraestruturas permanentes, sem adotar plataformas de *software* aberto, representam um desafio para sua adoção em larga escala no país.

Considerando os avanços potenciais na compreensão da dimensão humana do desempenho de edificações viabilizados por pesquisas em *living labs*, este trabalho apresenta o sistema de *hardware* e *software* desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina para transformar um ambiente em um *living lab*. O espaço estudado inclui escritórios individuais e compartilhados, salas de reunião e uma copa. O estudo detalha os protocolos adotados para a coleta e comunicação dos dados monitorados, abrangendo variáveis ambientais internas (térmicas, lumínicas e de qualidade do ar), variáveis de operação dos sistemas (AVAC, janelas/portas e sistemas personalizados de controle ambiental) e o consumo energético do ambiente. Além disso, o modelo proposto incorpora a coleta de respostas subjetivas dos ocupantes, permitindo a contextualização dos dados monitorados com as percepções dos usuários.

## Método

### Coleta e armazenamento dos dados monitorados

Para coletar, armazenar e tratar os dados de todos os sensores, foi utilizado um sistema operacional com foco em automação residencial chamado *Home Assistant* em um microcomputador com processador Intel i7, 32GB de RAM e um armazenamento SSD de 1TB. Este sistema operacional permite criar *dashboards* para visualização de dados, utilizar integrações para se comunicar com sensores, controlar e automatizar dispositivos etc. Foram utilizados os protocolos de comunicação Wifi, *bluetooth* e *Zigbee*. Para receber os dados de sensores com comunicação *Zigbee* foi utilizado um *dongle* modelo ZBDongle-P da Sonoff.

### Sensores para monitoramento da qualidade ambiental interna

Foram utilizados *data loggers* da empresa Onset para aquisição de dados ambientais, incluindo temperatura e umidade relativa do ar, concentração de CO2, iluminância e para desenvolver mini

confortímetros. A aquisição dos dados foi feita através de um *gateway* MX Gateway da empresa Onset que se comunica com os *data loggers* através do protocolo de comunicação *bluetooth*. Os dados são enviados para um servidor na nuvem e um código em *python* os adquire por meio de uma API, tratando-os na plataforma do *Home Assistant*, onde são salvos em um arquivo .csv. O Quadro 1 ilustra os sensores utilizados no *living lab.*

**Quadro 1: Especificação dos sensores utilizados no *living lab*.**

| Modelo | Variáveis de medição | Imagem |
|---|---|---|
| MX Gateway | - |  |
| MX1101 | Temperatura e umidade |  |
| MX1102 | Temperatura, umidade e concentração de CO2 |  |
| MX1105 | Este modelo é um *datalogger* com saídas para canais externos. Com ele, foram desenvolvidas mini estações de conforto térmico, com equipamento para monitorar temperatura de globo e velocidade do ar |  |
| MX2202 | Temperatura e iluminância |  |

Fonte: Autores

## Sensores para monitoramento da operação dos sistemas

Para obter e registrar o estado das janelas e portas do laboratório, utilizamos o sensor de contato SNZB-04 da empresa Sonoff. Esses sensores se comunicam por meio do protocolo Zigbee com o

*dongle* da Sonoff e então são armazenados em um banco de dados local no *Home Assistant*, por meio de um *script* em Python.

O *living lab* conta com sistemas personalizados de controle das variáveis ambientais (i.e., ventiladores de mesa e mini resfriadores evaporativos) em todas as estações de trabalho. Para controlá-los e adquirir os dados referentes a sua operação, utilizou-se o sensor USB Micro da empresa Sonoff, que atua como um interruptor inteligente para ligar/desligar os ventiladores e os resfriadores evaporativos de mesa. O sensor utiliza comunicação *Wifi*. Então, para conectar o sensor com o *Home Assistant,* empregou-se o *add-on eWeLink Smart Home*, além de um aplicativo para celular *eWeLink*.

O sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC) consiste em um sistema de Fluxo de Refrigerante Variável (VRF) equipado com cassetes de teto. Cada cassete opera de forma independente, permitindo que os ocupantes ajustem suas configurações, incluindo *setpoints* de aquecimento e refrigeração, velocidade do ar (baixa, média e alta) e o ângulo das aletas. O sistema é controlado por meio de um *Intelligent Touch Manager*, onde os dados de operação ficam registrados. Para acessar esses dados remotamente, utilizou-se um conversor RS485 para *Modbus* TCP, que é capaz de enviar informações via *wireless* para o *Home Assistant*. Para obter os dados, utilizou-se o *add-on Node-RED*, que proporciona ferramentas para automatizar a coleta por meio de da programação de baixo nível pela configuração de registradores.

**Monitoramento do consumo energético**

O sistema de monitoramento do consumo energético adotado pode ser descentralizado, em cada estação de trabalho, ou centralizado, considerando o *living lab* completo. Para as estações de trabalho, foram utilizadas as tomadas inteligentes modelo TAPO. Por meio da integração TP-Link *Smart Home* e do aplicativo *android* Tapo, foi possível obter os dados de gasto energético (atual, diário e mensal em kW) dessas tomadas. Além disso, o sistema permite ligar e desligar as tomadas remotamente e de forma individual.

O sistema centralizado consiste no monitoramento por meio do dispositivo da empresa *GreenAnt*, que registra diversos parâmetros relacionados ao consumo elétrico. Os parâmetros mais importantes coletados foram: potência ativa, potência gerada e potência consumida. Desenvolveu-se, então, um código para armazenar os dados em um banco de dados no formato .csv, por meio de comunicação direta com o *Home Assistant*.

**Interface**

Desenvolveu-se uma interface a fim de facilitar a conexão ao *Home Assistant* com qualquer dispositivo que possua um navegador. Ressalta-se que a interface permite uma personalização completa de como e quais dados apresentar aos usuários, além de permitir gerar arquivos e questionários para exportar em formato .csv.

**Questionário**

Para obter as percepções de conforto humano dos trabalhadores no laboratório, criou-se um questionário com o objetivo de contextualizar os dados medidos ao longo do tempo. Com o auxílio do *add-on Node-RED*, foi possível criar este formulário usando *HTML, CSS e JavaScript*. Ao responder as perguntas e clicar no botão "Enviar", os dados são salvos automaticamente no *Home Assistant* como se fossem um sensor virtual. Um código em Python foi implementado para coletar esses dados, tratá-los e armazená-los em um arquivo .csv, onde podem ser baixados a qualquer momento pelos usuários utilizando a *dashboard* desenvolvida.

## Resultados e discussão

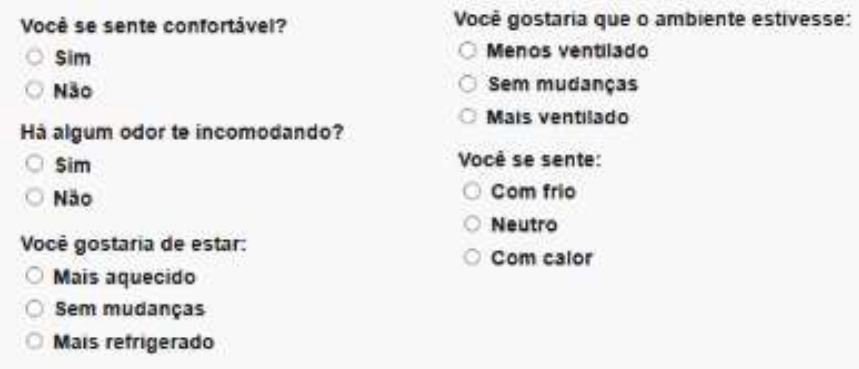
A implementação do *living laboratory* foi projetada para obter, armazenar e disponibilizar os diversos dados de qualidade ambiental interna, ajustes dos sistemas e de consumo energético. Nesta seção, apresenta-se o sistema desenvolvido através da *dashboard* do *Home Assistant.*

**Questionário**

Na Figura 1 são mostradas algumas perguntas do questionário de conforto. As respostas podem ser baixadas a qualquer momento, ao apertar o botão de *download* na interface do *Home Assistant*. A implementação de um método para coletar respostas subjetivas dos usuários do *living lab* visou contextualizar as variáveis ambientais e consumo energético monitorados. Vale ressaltar que essas avaliações periódicas também favorecem ajustes quanto à operação de edificações necessárias a partir da alteração da ocupação, e.g., com alterações dos padrões de ocupação ou dos próprios ocupantes em si. Além disso, essa implementação está alinhada aos desenvolvimentos internacionais no que se refere à compreensão específica quanto às exigências de usuários em ambientes de escritório. Por exemplo, variações na percepção térmica ao longo do dia, em que ocupantes podem ter suas exigências variadas devido a alterações fisiológicas ligadas ao ritmo circadiano humano (Vellei *et al.*, 2021). A introdução de questionários de conforto em ambientes de uso contínuo também visa favorecer a compreensão dos motivos e

dos comportamentos adaptativos adotados em relação a sistemas personalizados, como os ventiladores de mesa e mini resfriadores evaporativos adotados no *living lab.*

**Figura 1: Exemplos de perguntas no questionário de conforto do *Home Assistant*.**

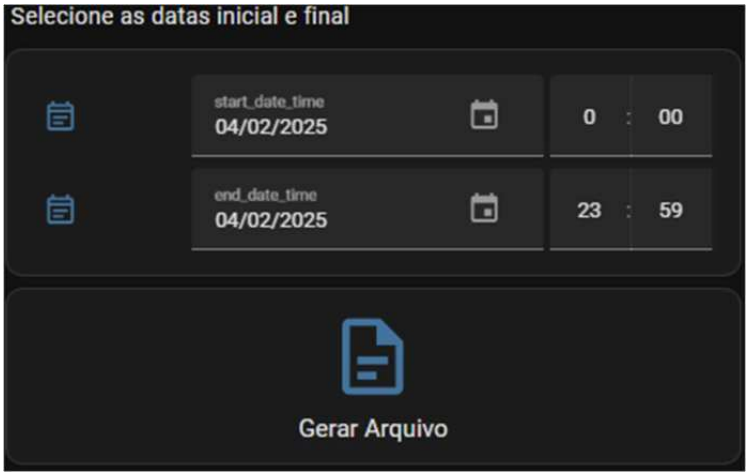



Fonte: Autores

## Exportar arquivos

Foi incluída uma aba para permitir a exportação de dados armazenados no *Home Assistant*, sempre que necessário. Nesta aba, é possível selecionar quais sensores ambientais e quais sensores de operação pretende-se incluir na base de dados final, assim como a data de início e fim. A Figura 2 elucida o processo de seleção de data inicial e final, assim como o botão de *download* após configurar todas as opções. Ao clicar no botão de gerar arquivo, um *popup* de carregamento aparece com um *link* que redireciona para o arquivo final. A possibilidade de baixar os dados monitorados foi implementada considerando que o *living lab* se configura como um ambiente acadêmico. Portanto, as bases de dados monitoradas podem ser utilizadas para aplicações de modelos estatísticos específicos com o intuito de responder a possíveis perguntas de pesquisa dos estudantes de graduação e pós-graduação. Na Figura 3 é possível observar a estrutura da planilha .csv dos dados ambientais e estado das janelas/portas. Ressalta-se que este estudo apresenta apenas um recorte da base de dados coletada. Considerando que o número total de colunas é proporcional à quantidade de sensores empregados no *living lab*, não seria viável representar todas as informações em uma única visualização adequada ao formato de um artigo de congresso. Com a possibilidade de acessar livremente os dados monitorados, os usuários podem se tornar mais conscientes do que ocorre no ambiente, além de facilitar o uso acadêmico dos monitoramentos realizados continuamente.

**Figura 2: Seleção de data inicial e final, assim como botão de gerar arquivo de exportação dos dados.**




Fonte: Autores

**Figura 3: Exemplo de planilha .csv com os dados escolhidos no formulário de exportação no *Home Assistant.***

| timestamp | 20589702_RH | 20589702_Temperature | binary_sensor.c1_contact |
|---|---|---|---|
| 04/02/2025 00:00 | 63.9 | 28.32 | off |
| 04/02/2025 00:10 | 63.43 | 28.34 | off |
| 04/02/2025 00:30 | 63.9 | 28.34 | off |
| 04/02/2025 00:40 | 63.65 | 28.37 | off |
| 04/02/2025 00:50 | 63.97 | 28.37 | off |
| 04/02/2025 01:00 | 64.14 | 28.37 | off |
| 04/02/2025 01:10 | 64.16 | 28.39 | off |
| 04/02/2025 01:20 | 64.33 | 28.39 | off |

Fonte: Autores

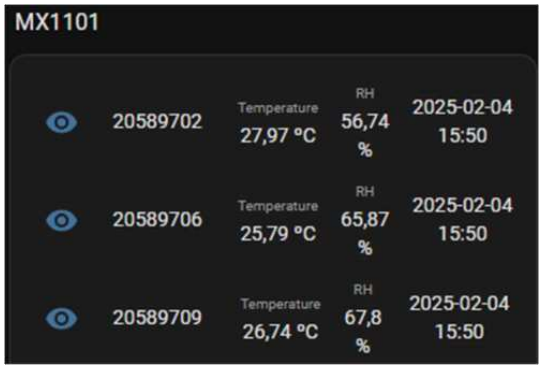
## Inspeção visual

Para fazer uma análise tangível, foram desenvolvidas interfaces que permitem ao usuário acesso aos dados de forma simples e eficiente. Os dados foram separados para que todos possam ter uma noção clara das informações atuais. A Figura 4a demonstra uma parte dos sensores da Onset disponíveis na interface, mostrando seu nome, as variáveis monitoradas e a data/horário do registro. A Figura 4b ilustra o estado de cada janela da sala de reunião 1, contendo seu nome e o estado atual, como exemplo desta tipologia de sensores. Estes são exemplos de *cards*, elementos gráficos customizáveis responsáveis por mostrar os dados de diversas maneiras. Foram adotados diversos *cards*, adequando-os ao tipo de variável a ser exibida aos usuários do sistema. Essas escolhas visam garantir que as informações sejam repassadas de maneira eficiente. Ressalta-se que os *cards* não apresentam a série histórica de dados monitorados para a operação das

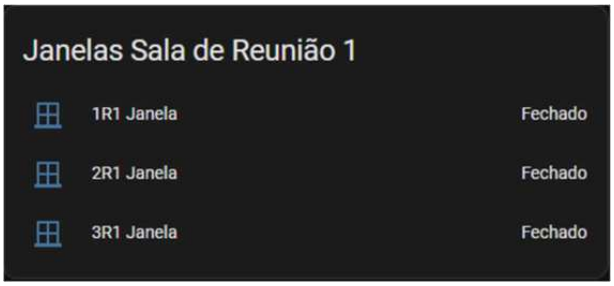
aberturas. Esta função da plataforma, assim como os *cards* aplicados para as variáveis ambientais, visa proporcionar o entendimento pontual quanto aos estados dos sistemas para seus usuários.

**Figura 4: Exemplo de visualização de sensores: a) MX1101 e b) de operação de janelas no *dashboard* do *Home.***

a) Sensores MX1101



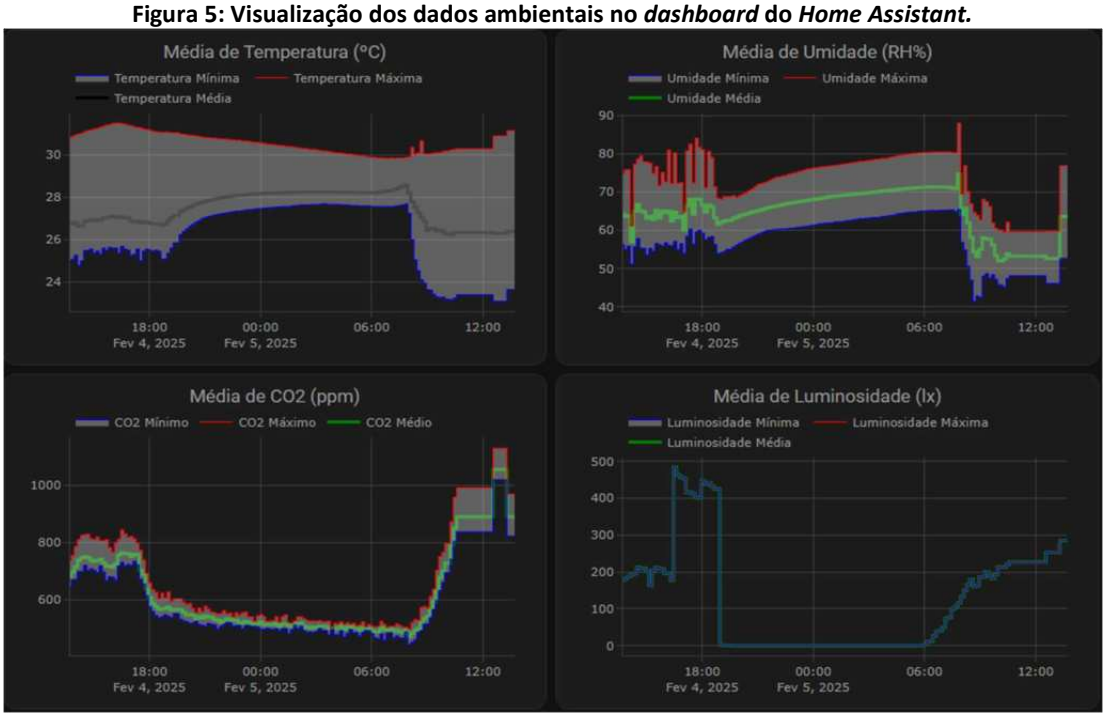

b) Sensores de operação das janelas




Fonte: Autores

A Figura 5 demonstra a interface responsável por analisar as variáveis ambientais ao longo do tempo por meio de gráficos dinâmicos. Esta função foi desenvolvida com o intuito de proporcionar aos usuários um entendimento completo quanto à qualidade ambiental interna no que se refere a: temperatura e umidade relativa do ar, concentração de $CO_2$ e níveis de iluminância. Cada gráfico apresenta os valores médios, máximo e mínimo observados no ambiente ao longo do tempo selecionado para o gráfico. É possível ajustar o gráfico para dar zoom e/ou visualizar dados mais antigos, de acordo com as necessidades dos usuários. A solução proposta contribui para a conscientização dos ocupantes quanto ao impacto de seus comportamentos no desempenho da edificação. Além disso, pesquisadores podem acompanhar esses dados em tempo real ou de forma retrospectiva durante os experimentos, facilitando análises aprofundadas e permitindo ajustes metodológicos que potencializam os resultados científicos obtidos no *living lab*.

**Figura 5: Visualização dos dados ambientais no *dashboard* do *Home Assistant.***




Fonte: Autores

## Conclusões

O desenvolvimento de um *living lab* descrito neste trabalho teve como objetivo aprofundar a compreensão sobre a percepção de conforto e o comportamento humano, relacionando-os ao consumo energético em um ambiente de trabalho acadêmico, compostos por salas individuais, compartilhadas, de reunião e uma copa. Como principal contribuição científica, destaca-se a implementação de uma infraestrutura de monitoramento contínuo que possibilita a coleta automatizada de variáveis ambientais internas, operação dos sistemas e consumo de energia, associadas às percepções subjetivas dos ocupantes. Em consonância com experiências internacionais, esta iniciativa contribui ao propor uma estrutura baseada em *software* aberto, de baixo custo e adaptável à realidade brasileira, ainda carente de iniciativas similares. Visando tornar a base de dados monitorada continuamente apresentável aos ocupantes, criou-se um ambiente virtual com representações interativas. O ambiente virtual foi estabelecido por meio da plataforma *Home Assistant*, capaz de centralizar as informações de todos os sensores e permitir a aplicação de questionários de conforto e percepção humana. Concluiu-se que a implementação de um *living lab* permite uma coleta automatizada e uma análise mais efetiva da percepção

humana em relação à qualidade ambiental interna, bem como os ajustes nos sistemas e o consequente consumo energético observado ao longo do ano. Tais análises são de extrema importância para o entendimento da dimensão humana do desempenho de edificações. Por fim, destaca-se que esta iniciativa está alinhada aos desenvolvimentos internacionais quanto à utilização de monitoramentos contínuos em ambientes reais, a fim de conhecer a operação da edificação em diferentes circunstâncias, tais como: horários do dia variados, diferentes estações climáticas, durante e após eventos climáticos extremos. A implementação proposta neste artigo também serve como modelo replicável para outras instituições interessadas em avaliar a operação real de edifícios em diferentes contextos climáticos e de uso. Trabalhos futuros serão concentrados na análise exploratória dos dados coletados ao longo de um ano a fim de conhecer os padrões de operação, os níveis de conforto e satisfação dos usuários e o consumo energético associado.

## Referências


BAVARESCO, M. V. *et al.* Methods used in social sciences that suit energy research: A literature review on qualitative methods to assess the human dimension of energy use in buildings. **Energy and Buildings**, v. 209, p. 109702, 2020.

CHEN, C.-F. *et al*. The impacts of building characteristics, social psychological and cultural factors on indoor environment quality productivity belief. **Building and Environment**, v. 185, p. 107189, 2020.

COTTAFAVA, D. *et al*. Crowdsensing for a sustainable comfort and for energy saving. **Energy and Buildings**, v. 186, p. 208–220, 2019.

LIN, W.; KOKOGIANNAKIS, G. Development of a Bayesian based adaptive optimisation algorithm for the thermostat settings in agile open plan offices. **Energy and Buildings**, v. 230, p. 110536, 2021.

PISELLO, A. L. *et al*. Test rooms to study human comfort in buildings: A review of controlled experiments and facilities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 149, p. 111359, 2021.

VELLEI, M. *et al*. Human thermal perception and time of day: A review. **Temperature**, v. 8, n. 4, p. 320–341, 2021.

WOODS, R.; KORSNES, M. Homemaking in a Living Laboratory: Interpretations of a Zero Emission Housing Solution. **Home Cultures**, v. 16, n. 2, p. 135–155, 2019.

YAN, D. et al. IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings. **Energy and Buildings**, v. 156, p. 258–270, 2017.

YOSHINO, H.; HONG, T.; NORD, N. IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 124–136, 2017.