





ARTIGO DE PESQUISA/RESEARCH PAPER

Aplicação do Filtro de Savitzky-Golay na Suavização de Dados do Módulo de Contagem de Pessoas do SAFE/UFRJ

Application of the Savitzky-Golay Filter to Smooth Data from the SAFE/UFRJ People Counting Module

André Giron   [Poli, Universidade Federal do Rio de Janeiro | andregiron@ufrj.br]
Guilherme Horta Travassos  [Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro | ght@cos.ufrj.br]

 Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Bloco A - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909

Resumo. Este artigo descreve a evolução do módulo de contagem de indivíduos do sistema IoT SAFE/UFRJ. Ao identificar que a diafonia entre os sensores ultrassônicos reduzia a precisão da abordagem original, propôs-se uma nova solução baseada na suavização de dados via filtro de Savitzky-Golay e binarização por média dinâmica. Essa atualização elevou a assertividade do sistema em testes in vitro de 56,25% para 100% em um mesmo conjunto de cenários de trabalho, consolidando a ferramenta como uma solução viável para o apoio à tomada de decisão e gestão de ocupação em tempo de execução.

Abstract. This paper describes the evolution of the people-counting module of the SAFE/UFRJ IoT system. Upon identifying that crosstalk between the ultrasonic sensors reduced the precision of the original approach, a new solution based on data smoothing via the Savitzky-Golay filter and dynamic mean binarization was proposed. This update increased the system's accuracy in in vitro tests from 56.25% to 100% for the same set of working scenarios, consolidating the tool as a viable solution for decision-making support and runtime occupancy management.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Análise Exploratória de Dados, Filtragem de Ruído, Engenharia de Sistemas de Software Contemporâneos

Keywords: Internet of Things, Exploratory Data Analysis, Noise Filtering

Recebido/Received: 11 June 2026 • **Aceito/Accepted:** 12 June 2026 • **Publicado/Published:** 10 July 2026

1 Introdução

A pandemia de COVID-19 evidenciou a necessidade de monitorar indicadores de biossegurança em espaços compartilhados para prevenir contágios UFRJ [2020]. Considerando que a população atual passa cerca de 90% do tempo em ambientes internos, frequentemente exposta a uma baixa qualidade do ar (do inglês *Indoor Air Quality* - IAQ) WHO [2014], o monitoramento dessas variáveis ambientais torna-se um indicador essencial para determinar a viabilidade e a capacidade segura de ocupação desses locais.

Nesse cenário, a versatilidade da Internet das Coisas (IoT) e da Inteligência Artificial (IA), aliada a metodologias ágeis Oliveira *et al.* [2024], apoia o monitoramento do ar Osa-Sanchez e Garcia-Zapirain [2025], o suporte à decisão em saúde Kelly *et al.* [2020]; Oliveira *et al.* [2024] e o combate a epidemias Genésio *et al.* [2024]. Fundamentada nesses paradigmas, a equipe ESE-TECNODIGITAL da Coppe/UFRJ desenvolveu o SAFE/UFRJ (Sistema de Software IoT para Monitoramento de Biossegurança de Instalações de Saúde). Em conformidade com o Guia de Biossegurança da instituição UFRJ [2020], o sistema emprega sensores de baixo custo (CO₂, temperatura, umidade e detecção de pessoas) para fornecer interfaces de gestão em tempo de execução sobre as condições de limpeza e manutenção de espaços — como laboratórios, salas de aula e recepções — equipados com seus dispositivos IoT Rios *et al.* [2023]; Giron *et al.* [2025].

A literatura reconhece os benefícios dos sensores de baixo custo para o monitoramento sustentável da qualidade do ar García *et al.* [2022]; Osa-Sanchez e Garcia-Zapirain [2025]. Alinhado a isso, o dispositivo IoT do SAFE/UFRJ (baseado na plataforma ESP-32) emprega sensores DHT-11 e CCS811 para a coleta direta de dados ambientais — uma prática comum na área García *et al.* [2022]; Peixe e Marques [2024]; Osa-Sanchez e Garcia-Zapirain [2025]. O grande diferencial do sistema, contudo, reside no monitoramento de ocupação: por meio de dois sensores ultrassônicos HC-SR04, o módulo interpreta eventos de entrada e saída para contabilizar os indivíduos no local. Essa integração permite avaliar os riscos à qualidade do ar frente à quantidade de ocupantes, apoiando a tomada de decisão em cenários críticos e evidenciando os impactos da alta utilização em diferentes perfis de ambientes.

Neste cenário, a percepção da quantidade de indivíduos em uma instalação se dá por meio do tratamento de uma sequência de medidas relacionadas a eventuais entradas e saídas para a obtenção da confirmação da ocorrência ou não de um evento e sua posterior contagem. Entretanto, o uso de sensores de baixo custo atua como fator limitante acerca da solução final, fazendo com que o monitoramento de eventos complexos, como a entrada e saída de pessoas, requeira o emprego de técnicas de tratamento e análise de dados avançadas, que permitam transformar os dados brutos obtidos com os sensores em informações interpretáveis pelo sistema He [2025],



Figura 1. Dispositivo IoT do SAFE/UFRJ com seus sensores instalados na porta do LENS - Laboratório de Engenharia de Software

para gerar o fluxo de indivíduos em uma instalação. Assim, o desafio deste trabalho de iniciação científica é investigar, modelar, evoluir e avaliar uma solução tecnológica que permita gerar eventos fidedignos a partir da leitura de sensores ultrassônicos e caracterizá-los corretamente como eventos de entrada ou saída, os quais são utilizados pelo módulo de contagem de pessoas do SAFE/UFRJ. Para oferecer detalhes dessa investigação, o artigo descreve inicialmente o módulo inicial e a análise das interferências identificadas (Seção 2), propondo na sequência uma abordagem evoluída com foco na suavização dos dados (Seção 3). Por fim, o estudo apresenta os resultados *in vitro*, sugerindo a superioridade da nova proposta com 100% de sucesso contra 56, 25% da inicial (Seção 4), e discute as ameaças à validade do estudo (Seção 5) antes de concluir com perspectivas para testes funcionais futuros (Seção 6).

2 Abordagem Inicial para Contagem de Indivíduos

Esta seção detalha o módulo inicial de contagem de pessoas (Subseção 2.1) e analisa os fatores que comprometem seu desempenho (Subseção 2.2). Essas limitações serão mitigadas pela nova solução algorítmica proposta na Seção 3.

2.1 Módulo de Contagem de Pessoas do Sistema SAFE-IoT

O módulo de contagem de pessoas do dispositivo IoT do SAFE/UFRJ utiliza dois sensores ultrassônicos HC-SR04 instalados acima da porta de entrada do ambiente em que se

deseja monitorar o fluxo de entrada e saída de pessoas do ambiente, no caso deste estudo, a porta do LENS - Laboratório de Engenharia de Software. O encapsulamento do dispositivo IoT com os sensores internos de qualidade do ar ocorre em um gabinete para conter o processador e sensores. Os sensores ultrassônicos são instalados externamente por meio de suportes posicionados dentro e fora da instalação e acima da porta. Tanto o gabinete como os suportes foram especialmente projetados e manufaturados por meio de impressão 3D conforme mostra a Figura 1.

O sistema SAFE/UFRJ utiliza sensores ultrassônicos HC-SR04 de baixo custo que, embora vantajosos economicamente Giron *et al.* [2025]; He [2025], apresentam imprecisões e ruídos inerentes, especialmente em locais confinados onde a emissão de múltiplos pulsos gera ecos que comprometem as medições Komorowski *et al.* [2016]; Cytron Technologies Sdn. Bhd. [2013]. No dispositivo em questão, a proximidade de dois sensores que emitem pulsos em intervalos temporais estreitos agrava essa interferência sonora, afetando a estratégia de cálculo do fluxo de indivíduos. Conforme a Figura 1, os sensores são instalados acima da porta (um externo e outro interno), baseando-se no princípio de que a ordem de ativação define o evento: uma entrada ativa primeiro o sensor externo e depois o interno, enquanto uma saída segue a sequência inversa. Assim, para todo evento concreto, a ativação sequencial de ambos os sensores é obrigatória; contudo, a análise exploratória dos dados coletados — discutida na próxima seção — revelou que a interferência mútua entre os componentes prejudica essa lógica de detecção.

2.2 Análise Exploratória

O processo de análise dos dados coletados é fundamental durante o procedimento de diagnóstico e modelagem de uma abordagem de medição. Essa etapa faz-se necessária para compreender o comportamento das informações coletadas, observar valores discrepantes (*outliers*) Komorowski *et al.* [2016] e avaliar as opções de pré-tratamento, para impedir que dados valiosos sejam desperdiçados Wohlin *et al.* [2012]. Durante a etapa de coleta foi construído um protocolo de observação para compreender os possíveis eventos de interesse. A Figura 2 apresenta um gráfico de pontos correspondentes a um dos eventos coletados.

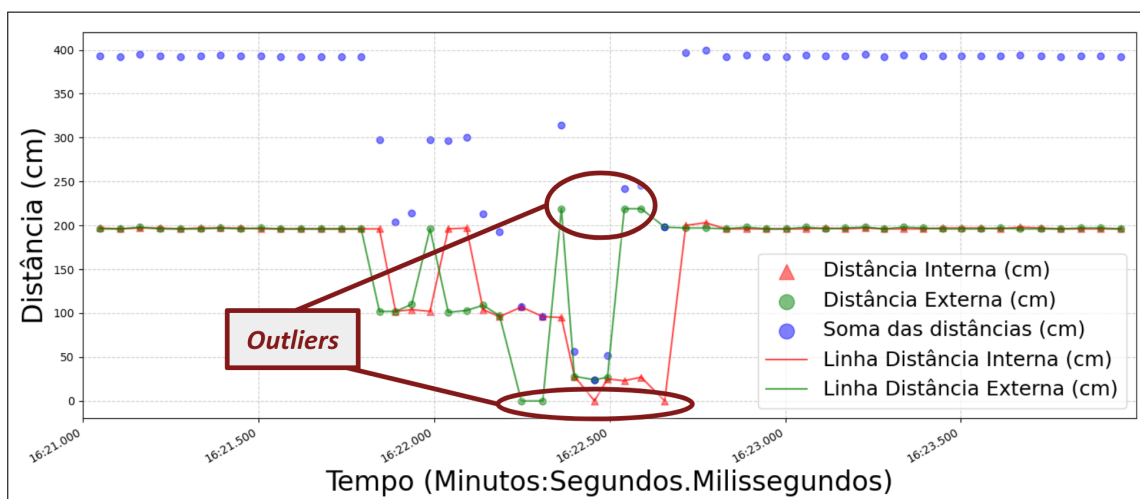
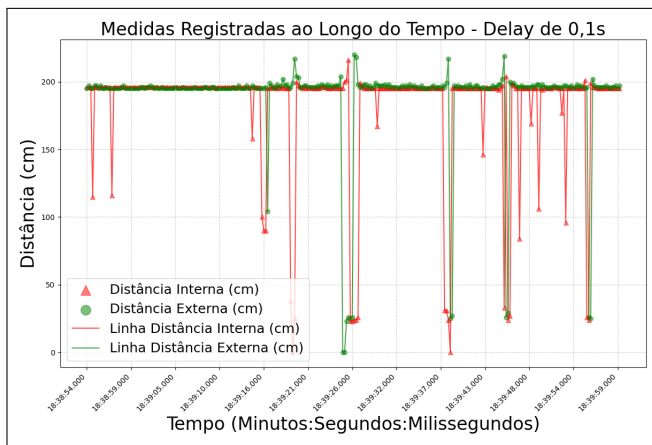
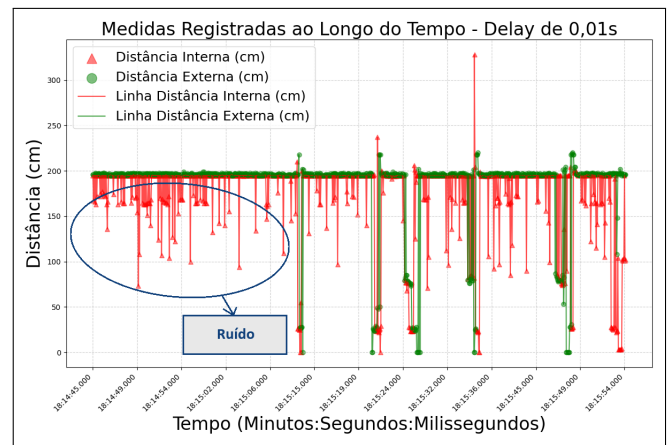


Figura 2. Gráfico de pontos correspondente a um evento de entrada



(a) Intervalo de 0,1 segundos



(b) Intervalo de 0,01 segundos

Figura 3. Coleta de dados realizada com intervalos de medição diferentes

Conforme mostra a Figura 2, o eixo Y representa a distância medida pelos sensores quando algo passa sob a porta, calculada por meio da captura do tempo de ida e volta da onda emitida até um objeto, no caso, um indivíduo. Com base na instalação dos sensores, quanto menor a distância medida, maior a percepção de que algo está sob a porta (valor padrão é a altura de instalação em relação ao piso). Portanto, como essa distância diminui na presença de uma pessoa ou objeto, leituras abaixo de um determinado valor indicam um estado de ativação do sensor. O eixo X registra o tempo de cada medição, evidenciando a curta duração desses eventos (cada ponto representa o resultado de uma emissão ultrassônica) da ordem de milissegundos. Por fim, o gráfico revela dois tipos de outliers: valores nulos e medidas irreais, que superam a distância máxima (200 cm) dos sensores e o piso do ambiente.

A ocorrência de valores nulos pode ser justificada devido a uma limitação física dos sensores, que faz com que cada sensor capte as ondas enviadas pelo seu emissor em uma área cônica de 45 graus Cytron Technologies Sdn. Bhd. [2013]. Deste modo, ondas refletidas por objetos ou indivíduos que não atingem esta área são perdidas, correspondendo a valores nulos. Adicionalmente, as medidas consideradas irreais podem ser justificadas em razão da diafonia causada entre os sensores. Para avaliar este tipo de interferência, foram coletados conjuntos de dados com diferentes frequências de captura, assim como apresentado na Figura 3.

A avaliação realizada através de intervalos de coleta diferentes expõe a proporcionalidade entre a interferência dos sensores e a frequência de medição. Como pode ser visto nas Figuras 3a e 3b, ao diminuir o intervalo entre as coletas, o ruído captado pelos sensores aumenta. Isso ocorre, pois com intervalos menores entre os ciclos de coleta, as ondas emitidas pelos sensores não possuem tempo suficiente para dissipação, antes que a próxima coleta se inicie, logo, a ocorrência de comunicação cruzada é mais incidente devido a esse fenômeno de característica acumulativa Cytron Technologies Sdn. Bhd. [2013]. Por meio da avaliação realizada, foi observado empiricamente que o intervalo de coleta que oferece melhor adequação entre a quantidade de medidas e o ruído gerado é de 0,05 segundos, correspondendo a 20 medidas coletadas por segundo.

Por fim, pode-se concluir através da análise explorató-

ria dos dados que o módulo inicial de contagem de pessoas tem seu desempenho comprometido, principalmente devido à interferência gerada pelo uso de múltiplos sensores ultrassônicos. Logo, para que o módulo seja evoluído e seu desempenho aprimorado, deve-se adotar métodos matemáticos para mitigar os impactos da diafonia entre sensores, garantindo uma amostragem clara do evento e, conseqüentemente, facilitando sua caracterização.

3 Evolução da Abordagem

A partir das limitações do módulo inicial e dos riscos associados aos sensores ultrassônicos evidenciados pela análise exploratória, esta seção descreve uma abordagem evoluída para aprimorar a qualidade dos dados e a precisão da contagem de pessoas. Nesse contexto, o fluxo de procedimentos ilustrado na Figura 4 apresenta as duas abordagens (inicial e evoluída) avaliadas no presente trabalho. O fluxo em vermelho (i_1, i_2, i_3 e i_4) consiste na abordagem inicial, isto é, a estratégia originalmente desenvolvida, mas que tem desempenho limitado devido à interferência dos sensores ultrassônicos. De maneira complementar, a abordagem evoluída (fluxo completo) consiste na introdução de novas etapas (e_1, e_2 e e_3) para garantir a uniformidade dos dados que serão analisados e mitigar o impacto da interferência entre sensores. Por este motivo, foram adotadas algumas etapas de pré-tratamento das informações coletadas.

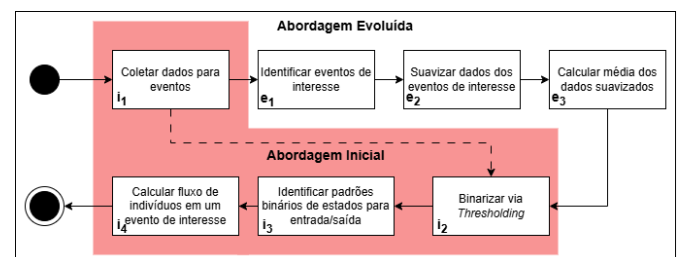
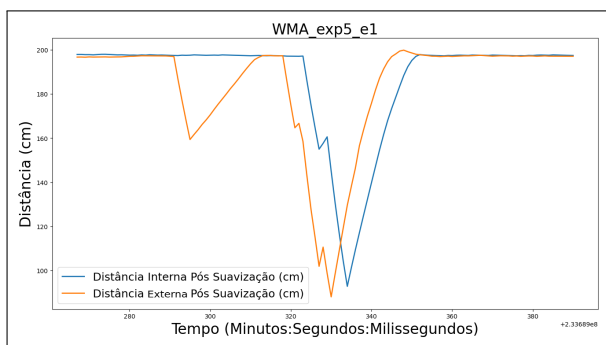


Figura 4. Etapas da abordagem inicial (em vermelho) e sua evolução

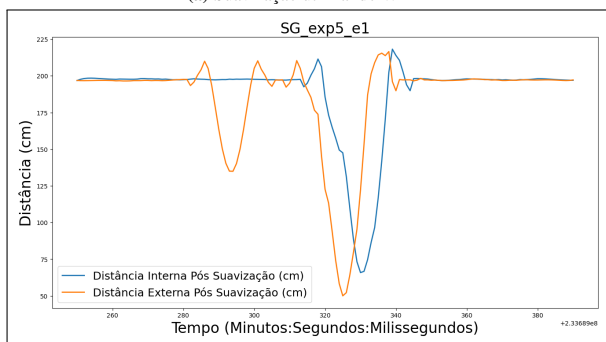
No fluxo de procedimentos ilustrado na Figura 4, a etapa 'Identificar eventos de interesse' agrega os dados dos sensores ultrassônicos para isolar ocorrências válidas de entrada ou saída. O princípio dessa identificação baseia-se no comportamento estável dos sensores em repouso, cujas leituras per-

manecem dentro de uma faixa de valores conhecida. Assim, conjuntos de medidas que destoam desse intervalo padrão são classificados como potenciais eventos de interesse. Com essa mudança, o módulo abandona a avaliação contínua das medidas adotadas anteriormente e passa a analisar apenas esses segmentos específicos. Essa reestruturação, além de aprimorar a qualidade da informação coletada, é um pré-requisito para a etapa subsequente, denominada 'Suavizar dados dos eventos de interesse'. Tal exigência ocorre porque as duas técnicas de suavização avaliadas — a Média Móvel Ponderada (*Weighted Moving Average - WMA*) Wang e Wang [2020] e o filtro de Savitzky-Golay (SG) Schafer [2011] — operam estritamente sobre janelas de dados com tamanho fixo de medidas. Por fim, a última etapa introduzida no fluxo consiste no cálculo da média dos valores de cada evento, transformando o limiar de binarização — antes estático — em um parâmetro dinâmico e adaptável a cada novo evento de entrada ou saída.

A utilização de WMA para suavização dos dados consiste na ideia de que quanto maior a distância entre dois pontos, menor a influência entre eles, logo, pequenas variações são suprimidas, evidenciando a tendência e diminuindo a diafonia entre os sensores Wang e Wang [2020]. De forma similar, o filtro de SG também realiza a atenuação dos dados coletados. No entanto, por se basear na suavização polinomial por mínimos quadrados Schafer [2011], o resultado obtido apresenta variações mais suaves, bem como pode ser ajustado de forma mais fina em função do grau do polinômio desejado. Estes filtros foram selecionados para análise dentre outras técnicas de suavização devido à conveniência, disponibilidade de ferramental e baixo custo computacional destas soluções. A Figura 5 apresenta o desempenho dos filtros investigados no processo de suavização de um evento de saída previamente registrado.



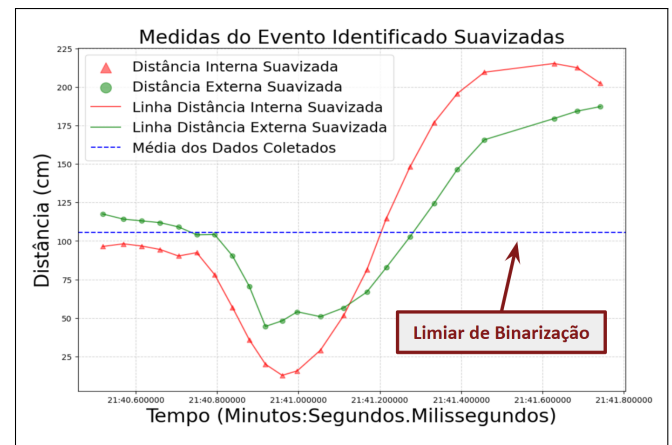
(a) Suavização utilizando WMA



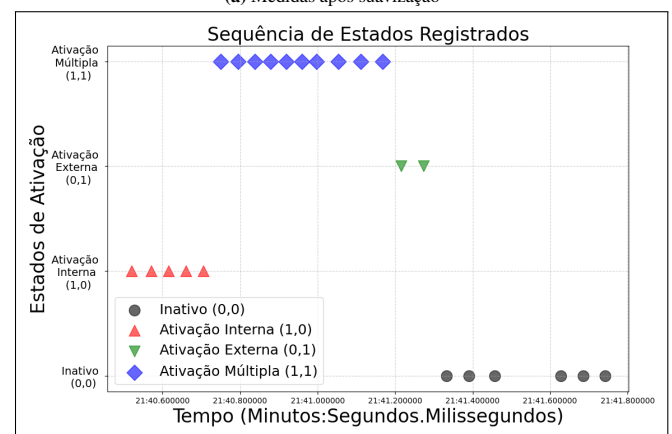
(b) Suavização utilizando filtro de SG

Figura 5. Comparação de técnicas de suavização

Durante a etapa de modelagem, avaliaram-se as duas técnicas de suavização anteriormente descritas, como apresentadas nas Figuras 5a e 5b. Ambos os métodos foram eficazes na mitigação dos impactos das interferências; contudo, o filtro de SG (Figura 5b) foi selecionado por proporcionar uma variação de sinal mais suave, decorrente de seu ajuste de caráter polinomial Schafer [2011]. Adicionalmente, como a implementação do filtro de SG se baseia em matrizes de coeficientes previamente calculadas, o processo de suavização consiste em operações lineares de convolução de baixo custo computacional e de memória, mostrando-se ideal para sistemas embarcados Schafer [2011]. Por fim, para determinar os parâmetros operacionais dessa etapa, foram executadas baterias de testes funcionais repetindo os eventos previamente capturados e empiricamente configurando os parâmetros a cada execução, selecionando-se a configuração que apresentou o melhor ajuste ao comportamento dos dados considerando o conjunto de execuções realizadas: uma janela de suavização com dimensão N limitada a $N \leq 21$, sendo N o número de medições registradas por evento, combinada a um ajuste polinomial de quarta ordem.



(a) Medidas após suavização



(b) Estados de ativação do sensor

Figura 6. Processo de obtenção dos estados de ativação dos sensores

A Figura 6 sintetiza o processo de obtenção dos estados de ativação do módulo de contagem de pessoas. Inicialmente, conforme visualizado na Figura 6a, após a coleta e suavização das medidas, calcula-se a média dos dados para ser utilizada como um limiar de binarização (linha tracejada). Atribui-se o estado lógico alto (HIGH, 1) às distâncias inferiores a

esse limiar, indicando a presença de um obstáculo, e o estado baixo (LOW, 0) às medidas superiores. Após esta etapa, os estados individuais dos sensores interno e externo são combinados para compor os estados do módulo, apresentados na legenda da Figura 6b. A caracterização de um evento de interesse ocorre através da detecção de uma sequência temporal bem definida desses estados. O padrão ilustrado na Figura 6b representa um evento de saída, que é composto necessariamente pela transição sequencial: "Ativação Interna"(1,0), seguida de "Ativação Múltipla"(1,1) e, finalmente, "Ativação Externa"(0,1). Um evento de entrada é registrado pela detecção dessa mesma sequência, mas em ordem inversa.

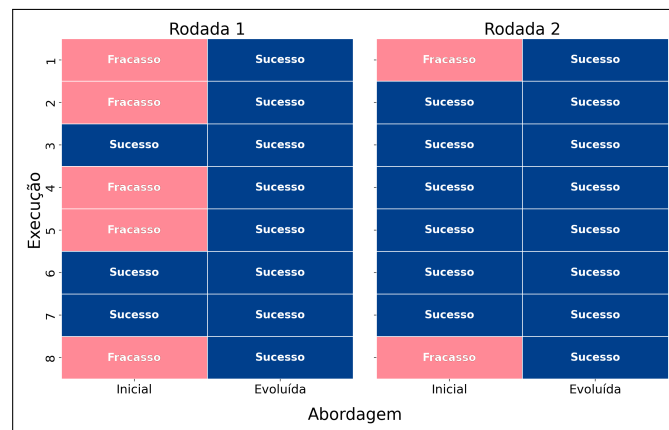
4 Resultados e Discussão

Uma vez evoluída a abordagem, torna-se necessária a realização de observações experimentais para verificar se o tratamento das inconsistências identificadas durante a análise exploratória (Subseção 2.2) efetivamente aprimorou a assertividade do módulo de contagem de pessoas do SAFE/UFRJ na caracterização de eventos de interesse. Para avaliar essa evolução, conduziu-se um estudo comparativo entre a abordagem inicial e a evoluída, com ênfase na taxa de acertos e na confiabilidade dos resultados obtidos utilizando um mesmo conjunto de cenários de trabalho.

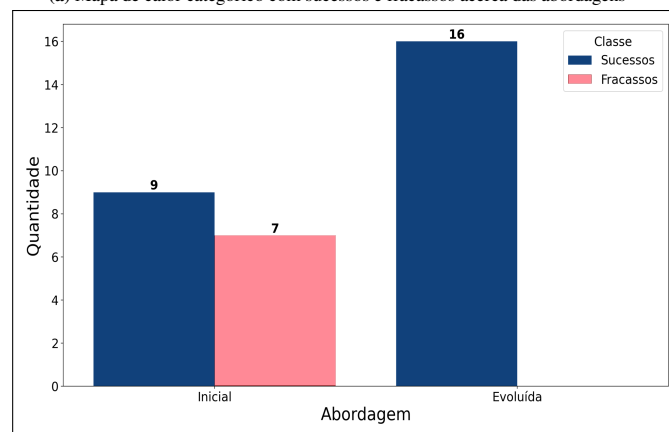
O estudo experimental consistiu na comparação das duas estratégias (inicial e evoluída), submetidas a duas rodadas de testes com oito execuções (cenários de entrada e saída) cada uma com o dispositivo IoT instalado na porta do LENS. A escolha desses cenários baseou-se em um roteiro (<https://github.com/alobogiron/relatorio-pibic-2025/tree/main/roteiros>) construído para abranger todos os possíveis cenários observados na fase de análise exploratória. Para viabilizar a coleta de dados, a reprodução de cada cenário foi executada por um usuário do LENS de maneira controlada, seguindo as condições e especificações propostas pelo roteiro. Posteriormente, o fluxo de pré-processamento e a análise dos dados de ambas as abordagens — conforme detalhados na Seção 3 — foram implementados em Python, via Jupyter Notebooks, fazendo o uso de bibliotecas comuns para análise de dados, como NumPy, Pandas, SciPy e Matplotlib.

A Figura 7a apresenta os resultados obtidos durante o processo de caracterização de eventos de interesse para as duas abordagens avaliadas. O gráfico consiste em um mapa de calor categórico que representa as duas rodadas do estudo, suas respectivas execuções e o resultado da caracterização do evento, sucesso ou fracasso. A partir da análise visual, observam-se dois padrões principais: (i) a dificuldade da abordagem inicial em caracterizar os eventos das execuções 1 e 8, atribuída a uma peculiaridade inerente à própria estratégia; e (ii) o sucesso da abordagem evoluída em todas as execuções. Por fim, destaca-se que a Execução 2 da Rodada 2 teve que ser refeita para as duas abordagens, por não satisfazer as condições mínimas para sua posterior análise e avaliação. Deste modo, para esta execução em específico, e apenas esta, não se seguiu a ordem cronológica descrita no roteiro; no entanto, este fato não afeta a análise. A reprodução deste cenário evita incertezas durante nossa avaliação, permitindo que todos os eventos descritos no roteiro possam ser avaliados para as duas abordagens. Todos os dados e modelos utilizados

estão disponíveis para revisão através do pacote experimental do estudo (https://github.com/alobogiron/relatorio-pibic-2025/tree/main/avaliacao_abordagem).



(a) Mapa de calor categórico com sucessos e fracassos acerca das abordagens



(b) Gráfico de barras apresentando quantidade de sucessos e fracassos

Figura 7. Análise dos resultados obtidos

Ademais, observa-se que a abordagem evoluída demonstra estabilidade, obtendo resultados consistentes ao longo de diferentes rodadas para uma mesma execução. Em contrapartida, a estratégia inicial oscila entre sucessos e fracassos sob as mesmas condições. Conforme ilustrado na Figura 7b, esse padrão reforça a percepção de superioridade do método evoluído, que se mantém invariável, opondo-se à instabilidade e à maior taxa de insucesso do método inicial.

Além de apresentar maior consistência, a abordagem evoluída também obteve taxa de sucesso superior na caracterização de eventos de interesse em relação à abordagem inicial, conforme apresentado na Figura 7b. Das 16 execuções avaliadas, o algoritmo evoluído obteve êxito em todas elas, atingindo uma taxa de sucesso de 100% para os casos observados, enquanto a abordagem inicial apresentou sucesso em apenas 9, representando uma porcentagem de acerto de 56,25% na avaliação dos mesmos conjuntos de dados.

Em virtude dos fatos descritos, compreende-se que o desempenho superior da abordagem evoluída em contraste com a inicial ocorre principalmente devido ao processo de suavização dos dados presente na estratégia. Como descrito na subseção de evolução da abordagem, a adoção dessa técnica mitiga o efeito de medidas incorretas e a interferência entre sensores, resultando em uma variação de estados de ativação dos sensores mais comportada e, conseqüentemente,

na identificação correta do evento de interesse. Além disso, devido à adoção de etapas para detecção e construção de eventos de interesse, todos os conjuntos de dados analisados tendem a ter perfil semelhante, algo que impacta diretamente a consistência dos resultados.

5 Ameaças a Validade

Baseando-se nas classificações de Wohlin *et al.* [2012], reportam-se quatro ameaças à validade deste estudo. A **Validade da Conclusão** (*Conclusion Validity*) é afetada pelo baixo poder estatístico devido à amostra reduzida, ameaça mitigada pela execução de rodadas experimentais repetidas com um conjunto fixo de cenários. Já a **Validade Interna** (*Internal Validity*) está associada ao uso de bibliotecas de terceiros para a construção dos modelos e aplicação do filtro de Savitzky-Golay, o que torna os resultados dependentes dessas ferramentas específicas.

Quanto à **Validade do Constructo** (*Construct Validity*), o foco exclusivo na redução de ruído como facilitador da contagem limita a avaliação de outros fatores, restrição contornada pela elaboração de um roteiro focado em delimitar os eventos investigados. Por fim, a **Validade Externa** (*External Validity*) esbarra na especificidade dos resultados no contexto do SAFE/UFRJ; para reduzir essa barreira e viabilizar a reprodutibilidade dos experimentos em outros sistemas IoT, adotou-se um roteiro padronizado de captura de ocorrências.

6 Considerações Finais

Este trabalho descreveu a evolução e avaliação do módulo de contagem de pessoas do sistema SAFE/UFRJ, demonstrando que a utilização do filtro Savitzky-Golay (SG) para suavização, aliada a métodos de agregação de dados, elevou a taxa de acerto de 56, 25% na abordagem inicial para 100% na versão evoluída, para um mesmo conjunto de cenários de trabalho. Além do desempenho superior, a nova estratégia apresentou maior confiabilidade, mantendo resultados constantes independentemente da rodada de execução, ao contrário da abordagem anterior, que exibía variações em cenários idênticos. Conclui-se que os resultados são promissores e suficientes para testes de campo em ambientes de baixo risco, como salas de aula; contudo, a generalização ainda é limitada pelo número reduzido de testes. Assim, trabalhos futuros focarão na expansão dos cenários e na diversidade de eventos para obter métricas mais robustas, além da realização de testes funcionais para garantir que o aprimoramento do sistema não comprometa suas demais funcionalidades de monitoramento de ocupação.

Declarações complementares

Agradecimentos

André Giron é bolsista PIBITI/CNPq/UFRJ. Prof. Travassos é pesquisador do CNPq e CNE da Faperj.

Financiamento

Este trabalho foi desenvolvido no contexto do Edital CAPES-EPIDEMIAS (223038.014919/2020-19), com apoio financeiro da CAPES, FAPERJ e CNPq. O SAFE/UFRJ é registrado no INPI sob o número BR512025001726-0.

Contribuições dos autores

André Giron contribuiu para a concepção e execução deste estudo, sendo o principal contribuidor e escritor deste manuscrito. Guilherme Horta Travassos orientou e contribuiu no planejamento do estudo, análise e revisão do texto. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Conflitos de interesse

Os autores declaram que não têm nenhum conflito de interesses.

Disponibilidade de dados e materiais

Os conjuntos de dados gerados e/ou analisados durante o estudo atual serão disponibilizados mediante solicitação.

Outras informações relevantes

Todo o trabalho foi realizado pelos autores sem o uso de ferramentas de IA, exceto os editores e corretores de texto convencionais.

Referências

- Cytron Technologies Sdn. Bhd. (2013). *HC-SR04 Ultrasonic Sensor User's Manual*, 1st edition. Disponível em: <https://cdn.awsli.com.br/945/945993/arquivos/HCSR04.pdf>. Acesso em: 15/01/25.
- García, M. R., Spinazzé, A., Branco, *et al.* (2022). Review of low-cost sensors for indoor air quality: Features and applications. *57(9):747–779*. DOI: 10.1080/05704928.2022.2085734.
- Genésio, V., Rodriguez, L., e Braga, R. (2024). Monipaep: Um sistema para monitoramento de sintomas de doenças endêmicas. In *Anais Estendidos do XXIV SBCAS*, pages 127–132, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC. DOI: 10.5753/sbcas_estendido.2024.2236.
- Giron, A., Marinho, K., Drummond, L., *et al.* (2025). Sistema de software iot para monitoramento de biossegurança de instalações. In *Anais Estendidos do XXV SBCAS*, pages 229–234, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC. DOI: 10.5753/sbcas_estendido.2025.7228.
- He, Y. (2025). Research for robot detection system based on low-cost distance sensor HC-SR04. In *2025 IEEE 3rd ICSECE*, pages 745–749. DOI: 10.1109/ICSECE65727.2025.11256852.
- Kelly, J., Campbell, K., Gong, E., e Scuffham, P. (2020). The internet of things: Impact and implications for health care delivery. *J Med Internet Res*, 22(11). DOI: 10.2196/20135.
- Komorowski, M., Marshall, D. C., Saliccioli, J. D., *et al.* (2016). *Exploratory Data Analysis*, pages 185–203. Springer International Publishing, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-43742-2_15.
- Oliveira, A. B. d. *et al.* (2024). *Hospitais seguros e resilientes: Desafios e Estratégias de Preparação e Resposta a Emergências e Desastres*. Editora CRV, Curitiba, PR, Brazil, 1 edition.
- Osa-Sanchez, A. e Garcia-Zapirain, B. (2025). Real-time air quality monitoring: A smart IoT system using low-cost sensors and 3-d printing. *9:65–79*. DOI: 10.1109/JRFID.2025.3541816.
- Peixe, J. e Marques, G. (2024). Low-cost IoT-enabled indoor air quality monitoring systems: A systematic review. *JAISE*, 16(2):167–180. DOI: 10.3233/AIS-220577.
- Rios, N., Spínola, R., e Travassos, G. (2023). Exploring

- technical debt on iot software projects. In *Proceedings of the SBQS XXI*, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery. DOI: 10.1145/3571473.3571495.
- Schafer, R. W. (2011). What Is a Savitzky-Golay Filter? [Lecture Notes]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 28(4):111–117. DOI: 10.1109/MSP.2011.941097.
- UFRJ (2020). Guia de ações de biossegurança para resposta à pandemia pela covid-19 no Âmbito da ufrj. Relatório técnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://portal.nce.ufrj.br/images/documentos/retornopresencial/guia-de-biosseguranca-ufrj.pdf>. Acesso em: 10/01/25.
- Wang, X. e Wang, C. (2020). Time Series Data Cleaning: A Survey. *IEEE Access*, 8:1866–1881. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962152.
- WHO (2014). Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments: An evidence-based review prepared for the who training workshop “multiple environmental exposures and risks”. Technical report, World Health Organization, Bonn, Germany. Disponível em: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/18716534-cf8c-4d79-a5b8-3181863857d1/content>. Acesso em: 10/01/25.
- Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., et al. (2012). *Experimentation in software engineering*, volume 236. Springer.