



SEGURANÇA DO TRABALHO



Gabriel Inácio Laux Dos Santos

Engenheiro de Segurança do Trabalho (UCS), CREA RS 251098



Augusto Antonioli Bolzoni

Engenheiro de Segurança do Trabalho (UCS), CREA RS 216246



Henrique Gonçalves Andrade

Engenheiro Eletrônico (UFPEL)





DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE DISPOSITIVO PARA **MONITORAMENTO DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA COM CALIBRAÇÃO POR ÁRVORE DE DECISÃO**



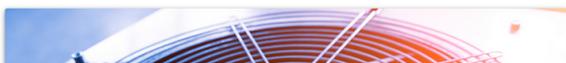
INTRODUÇÃO

A transição para a Indústria 4.0, com tecnologias avançadas como sensores inteligentes e automação, revolucionou a gestão dos processos industriais. Este artigo aborda o desenvolvimento de um dispositivo inovador para monitoramento de sistemas de ventilação local exaustora, calibrado por uma árvore de decisão, visando aprimorar a segurança e a saúde ocupacional. A importância da ventilação industrial eficaz é destacada pela necessidade de cumprir diretrizes rigorosas essenciais para a proteção respiratória dos trabalhadores, como enaltecido pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH, 2017).

O dispositivo combina tecnologias eletrônicas e mecânicas para monitoramento preciso das condições de ventilação. O dispositivo passou por validação com um manômetro diferencial certificado, apresentando uma diferença de apenas 0,27%. A calibração mostrou um erro quadrático médio (MSE) de $1,55 \times 10^{-5}$, um erro absoluto médio (MAE) de $2,82 \times 10^{-3}$ e um R^2 de 0,9997, destacando previsões precisas e uma forte correlação com os valores reais. Esses resultados demonstram a eficiência do dispositivo em fornecer dados confiáveis para a gestão de sistemas de ventilação industrial.

O objetivo geral deste estudo é desenvolver um dispositivo eficiente e preciso para monitoramento de sistemas de ventilação local exaustora, que possa ser integrado em ambientes industriais modernos. Especificamente, busca-se: (1) validar a precisão do dispositivo desenvolvido através de comparações com instrumentos certificados; (2) implementar um modelo de calibração por árvore de decisão para aprimorar a acurácia das medições; e (3) avaliar a eficácia do dispositivo na promoção da segurança e saúde ocupacional, conforme as normas da ACGIH (ASHRAE, 2017).

A implementação de Sensores 4.0 otimiza a eficiência no controle da vida útil dos sistemas de ventilação e garante conformidade com regulamentações, proporcionando um ambiente de trabalho mais seguro. A manutenção adequada e o controle rigoroso dos sistemas de ventilação são fundamentais para prevenir riscos ocupacionais e proteger a saúde respiratória dos trabalhadores (XENOS, 2004). Este, além de contribuir com a literatura sobre mecânica dos fluidos e ventilação industrial, também oferece soluções práticas para desafios contemporâneos na gestão de segurança e saúde ocupacional no contexto da Indústria 4.0 (MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 2001).



MATÉRIA DE CAPA



Nossa Ferramenta é a Solidariedade. Nosso Trabalho é a Reconstrução.

PALAVRA DA PRESIDENTE



CREA-RS: Juntos pela reconstrução do Rio Grande.

ARTIGOS



AGRONOMIA
Mudanças Climáticas no Contexto Agrometeorológico.

[Ver mais >](#)

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS



Aluna de Engenharia de Software da PUCRS é premiada em competição Internacional da Apple com aplicativo sobre acessibilidade.

[Ver mais >](#)

FISCALIZAÇÃO



#PartiuFisca

POR DENTRO DAS ENTIDADES



NOTÍCIAS



Notícias CREA-RS

RAIO X DAS INSPETÓRIAS



Foco nas Inspetorias



Livros e Sites

CAPA >

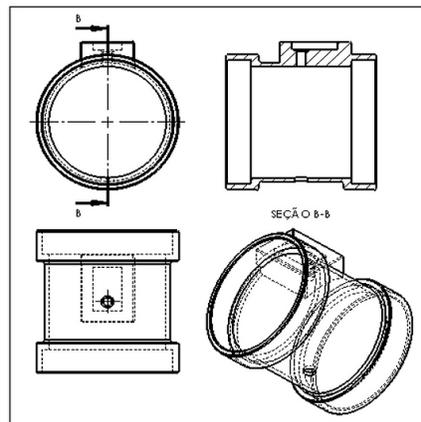
DESENVOLVIMENTO E RESULTADO

Neste estudo, foi desenvolvido um dispositivo para monitoramento contínuo da pressão em sistemas de ventilação industrial, alinhado às recomendações da ACGIH. O sensor foi projetado para superar as limitações dos dispositivos tradicionais, que realizam medições pontuais e não registram automaticamente e de forma contínua os resultados.

O dispositivo foi montado utilizando um sensor de pressão estática fixado na parede do duto de ventilação, e um sensor de temperatura para correção do fator de densidade no cálculo de velocidade do escoamento. O dispositivo foi programado para se conectar à rede local de internet (Wi-Fi), permitindo o registro contínuo das medições em um banco de dados dedicado. Esta configuração visa proporcionar uma solução integrada para o monitoramento de sistemas de ventilação, permitindo a análise em tempo real e a documentação das condições ambientais.

Para validar a precisão e a eficiência do sensor, foram realizados testes em bancada comparando as medições do dispositivo com um manômetro diferencial de pressão Testo 510i, certificado para medições de referência. Uma peça específica foi desenvolvida para comparar a pressão estática em um ponto da seção transversal do duto de escoamento, conforme ilustrado na Figura 1 do estudo.

Figura 1 – Protótipo de callbragem desenvolvido para aferição entre o sensor e o manômetro diferencial de pressão Testo 510i



Embora o sensor tenha acompanhado o comportamento temporal do equipamento certificado, os valores registrados divergiam em termos de escala, indicando uma descalibração evidente. Para normalizar os dados de pressão estática e facilitar a comparação, foi utilizado o método *MinMaxScaler* da biblioteca *Scikit-learn* em *Python*.

Os dados de pressão normalizados possibilitaram comparações diretas entre as medições do sensor e do manômetro Testo 510i. Foi utilizado um modelo de árvore de decisão da biblioteca *Scikit-learn*, configurado para crescer de forma natural até atingir critérios de pureza nos nós, sem restrições quanto à profundidade ou ao número mínimo de amostras por nó. Os dados foram divididos em conjuntos de treinamento e teste para validar a capacidade preditiva do modelo.

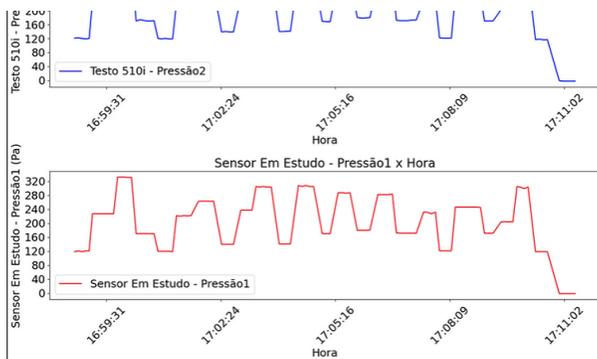
Os resultados obtidos com o modelo de árvore de decisão demonstraram uma precisão excepcional, com um coeficiente de determinação R^2 de 0.9997, um *Mean Squared Error* (MSE) de 1.55×10^{-9} e um *Mean Absolute Error* (MAE) de 2.82×10^{-3} . A análise dos resíduos indicou uma média de 8.0×10^{-6} e um desvio padrão de 3.89×10^{-3} , com uma distribuição normal conforme verificado pelo teste de *Shapiro-Wilk* (p-valor de 0.4418).

As visualizações gráficas, incluindo o gráfico QQ e o histograma dos resíduos, confirmaram a precisão e a confiabilidade do modelo de árvore de decisão. A distribuição normal dos resíduos indicou a ausência de erros sistemáticos, validando a calibração do sensor.

A análise comparativa final entre os sensores, conforme ilustrado na Figura 2, destacou a elevada concordância entre o sensor e o manômetro Testo 510i após a calibração, com uma diferença média de apenas 0,27%. Este resultado confirma a aplicabilidade do sensor em contextos que demandam alta precisão em medições de pressão, assegurando a fiabilidade do dispositivo para monitoramento contínuo de sistemas de ventilação industrial.

Figura 2 – Gráfico comparativo entre dispositivos com valores de pressão callbrados





CONSIDERAÇÕES FINAIS

O novo dispositivo de pressão e temperatura é importante para aplicação no atual cenário de monitoramento industrial. Sua alta precisão e conectividade comprovam sua eficácia comparada a um manômetro diferencial calibrado, transformando a gestão de dados em tempo real. Este avanço possibilita análise contínua, identifica padrões, podendo antecipar manutenções, e melhora de processos produtivos com segurança.

A capacidade de registro contínuo de dados amplia o controle sobre os processos industriais, promovendo uma gestão mais eficiente e proativa. Esta inovação é essencial para otimizar a produção e prevenir riscos ocupacionais, conforme as diretrizes da ACGIH e a legislação brasileira (NR-6 e Portaria MTP nº 672/2021), que regulamentam o uso de Equipamentos de Proteção Respiratória (EPR) para prevenir doenças do trato respiratório.

Além disso, o monitoramento preciso assegura que os sistemas de ventilação operem dentro dos limites seguros, garantindo a eficácia dos EPR e a conformidade com as normativas de saúde e segurança do trabalho. A implementação do sensor não só cumpre as expectativas de precisão e confiabilidade, mas também reforça o compromisso com a saúde ocupacional e a segurança dos trabalhadores.

Palavras-chave: Ventilação Industrial, Indústria 4.0, Segurança e Saúde do Trabalho, Sistema de Ventilação Local Exaustora, Árvore de Decisão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Handbook: Fundamentals. 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL. Doenças respiratórias relacionadas ao trabalho: manual de procedimentos para os serviços de saúde. Brasília, 2001.

XENOS, D. Industrial Maintenance. John Wiley & Sons, 2004.



[DOWNLOAD DO ARTIGO](#)

0 comentários



Deixe sua mensagem