

ARTIGO

IOT NA PREVENÇÃO DE RISCOS OCUPACIONAIS

Ikaro Loureiro Oliveira Pereira
Paulo Sérgio Pádua de Lacerda

RESUMO

A transformação digital impulsionada pela Indústria 4.0 tem promovido mudanças significativas nos modelos de gestão da segurança do trabalho, substituindo abordagens reativas por estratégias preditivas baseadas em dados. Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) destaca-se como uma tecnologia capaz de integrar sensores, dispositivos e sistemas inteligentes, permitindo o monitoramento contínuo de variáveis críticas em ambientes industriais. O presente estudo tem como objetivo analisar a aplicação da IoT na prevenção de riscos ocupacionais sob a perspectiva da Engenharia Elétrica, considerando seus fundamentos técnicos, aplicações e desafios de implementação. A metodologia adotada baseia-se em revisão bibliográfica e análise técnica de arquiteturas IoT aplicadas à segurança do trabalho. Os resultados evidenciam que a utilização de sistemas inteligentes possibilita a identificação antecipada de riscos, contribuindo para a redução de acidentes e para a melhoria das condições laborais. Conclui-se que a IoT constitui uma tecnologia estruturante para a segurança ocupacional na Indústria 4.0, sendo fundamental a atuação do engenheiro eletricista na concepção, integração e manutenção dessas soluções.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Segurança do Trabalho; Engenharia Elétrica.

ABSTRACT

The digital transformation driven by Industry 4.0 has significantly impacted occupational safety management, shifting from reactive approaches to predictive strategies based on real-time data. In this context, the Internet of Things (IoT) emerges as a key enabling

technology capable of integrating sensors, devices, and intelligent systems to continuously monitor critical variables in industrial environments. This study aims to analyze the application of IoT in occupational risk prevention from the perspective of Electrical Engineering, considering its technical foundations, applications, and implementation challenges. The methodology is based on a literature review and technical analysis of IoT architectures applied to workplace safety. The findings indicate that intelligent monitoring systems enable early risk detection, contributing to accident reduction and improved working conditions. It is concluded that IoT represents a structural technology for occupational safety within Industry 4.0, with Electrical Engineers playing a central role in the design, integration, and maintenance of these systems.

Keywords: Internet of Things; Occupational Safety; Electrical Engineering.

1 INTRODUÇÃO

A transformação digital, impulsionada pela Indústria 4.0, tem promovido mudanças significativas nos processos produtivos e nos modelos de gestão organizacional, especialmente no que se refere à segurança do trabalho. Tradicionalmente baseada em abordagens reativas, centradas na análise de acidentes já ocorridos e em inspeções periódicas, a segurança ocupacional tem evoluído para um modelo mais dinâmico, preditivo e orientado por dados (SOUZA, 2016; QUEIRÓS, 2023).

Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) destaca-se como uma tecnologia habilitadora capaz de integrar sensores, dispositivos e sistemas inteligentes em um ecossistema conectado, permitindo o monitoramento contínuo de variáveis críticas em ambientes industriais. A coleta e o processamento de dados em tempo real possibilitam a identificação antecipada de condições inseguras, contribuindo para a redução de acidentes e para a melhoria das condições de trabalho (GUBBI et al., 2013; SILVA; OLIVEIRA, 2020).

Sob a perspectiva da Engenharia Elétrica, a implementação de soluções baseadas em IoT envolve a integração de sistemas eletroeletrônicos, redes de comunicação, sensores e algoritmos de processamento, exigindo conhecimentos técnicos avançados e

uma abordagem sistêmica. O engenheiro eletricista assume papel estratégico na concepção, desenvolvimento e manutenção dessas soluções, garantindo sua confiabilidade, eficiência energética e conformidade normativa (CRUZ, 2018; QUEIRÓS, 2023).

Dessa forma, a presente pesquisa busca analisar a aplicação da IoT na prevenção de riscos ocupacionais, destacando sua relevância técnica, operacional e social, bem como os desafios associados à sua implementação em ambientes industriais.

1.1 Problematização

Apesar dos avanços tecnológicos observados nas últimas décadas, a segurança do trabalho ainda enfrenta limitações decorrentes de modelos tradicionais baseados em inspeções periódicas e na experiência empírica dos profissionais. Esses modelos, embora relevantes, apresentam restrições quanto à capacidade de antecipação de riscos e à resposta em tempo real a situações críticas (SOUZA, 2016; DE CICCO; FANTAZZINI, 2014).

A introdução da Internet das Coisas (IoT) surge como uma alternativa promissora, permitindo a coleta contínua de dados por meio de sensores distribuídos em equipamentos, ambientes e trabalhadores. No entanto, sua implementação não ocorre de forma trivial, uma vez que envolve desafios técnicos, como a integração de sistemas heterogêneos, a confiabilidade dos dados, a segurança da informação e a adequação a normas regulatórias (GUBBI et al., 2013; OLIVEIRA, 2021).

Além disso, fatores organizacionais, como resistência à mudança, falta de capacitação e preocupações com privacidade, também impactam a adoção dessas tecnologias (SANTOS; ALMEIDA, 2020; GOMES, 2020).

Diante desse cenário, formula-se a seguinte questão de pesquisa: Como a Internet das Coisas pode ser aplicada de forma eficiente e segura na Engenharia Elétrica para promover a prevenção de riscos ocupacionais em ambientes industriais?

1.2 Justificativa

A relevância deste estudo fundamenta-se na crescente necessidade de adoção de tecnologias inteligentes para a promoção da segurança do trabalho em ambientes industriais, especialmente no contexto da Indústria 4.0 (QUEIRÓS, 2023).

A Internet das Coisas permite a transformação de ambientes tradicionais em sistemas inteligentes, capazes de monitorar variáveis críticas em tempo real, como temperatura, corrente elétrica, vibração e presença de gases, possibilitando a identificação precoce de situações de risco. Essa abordagem representa uma mudança significativa de paradigma, ao substituir modelos reativos por estratégias preditivas baseadas em dados (GUBBI et al., 2013; DE CICCIO; FANTAZZINI, 2014).

Do ponto de vista técnico, o tema é altamente relevante para a Engenharia Elétrica, uma vez que envolve o projeto e a integração de sistemas eletrônicos, redes de comunicação e dispositivos embarcados, áreas diretamente relacionadas à atuação profissional do engenheiro eletricitista (CRUZ, 2018).

Sob a perspectiva social, a adoção de tecnologias voltadas à prevenção de acidentes contribui para a valorização da vida humana, a melhoria das condições de trabalho e a redução de custos associados a afastamentos e indenizações (CARVALHO, 2019; GOMES, 2020).

Adicionalmente, o estudo contribui para o avanço acadêmico ao integrar conceitos de engenharia, tecnologia e segurança ocupacional, oferecendo uma abordagem interdisciplinar alinhada às demandas contemporâneas do setor industrial.

1.3 Objetivos

Objetivo Geral

Analisar a aplicação da Internet das Coisas (IoT) na prevenção de riscos ocupacionais sob a perspectiva da Engenharia Elétrica, considerando seus fundamentos técnicos, aplicações práticas e desafios de implementação.

Objetivos Específicos

- Identificar os princípios e arquiteturas técnicas da IoT aplicáveis à segurança do trabalho;
- Caracterizar os principais riscos ocupacionais que podem ser monitorados por sistemas IoT;
- Analisar aplicações práticas da IoT em ambientes industriais;
- Avaliar os benefícios e limitações técnicas dessas soluções;
- Discutir os desafios técnicos, organizacionais e éticos associados à sua implementação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Evolução da Segurança do Trabalho e Indústria 4.0

A segurança do trabalho tem evoluído de forma significativa ao longo das últimas décadas, acompanhando as transformações tecnológicas e organizacionais dos sistemas produtivos. Inicialmente, as práticas de segurança estavam fundamentadas em abordagens empíricas e corretivas, nas quais as ações eram predominantemente reativas, ocorrendo após a materialização de acidentes ou incidentes (SOUZA, 2016).

Com o avanço das teorias de gestão e o fortalecimento das políticas de saúde ocupacional, especialmente a partir da segunda metade do século XX, passou-se a adotar uma abordagem mais sistematizada, baseada na identificação, análise e mitigação de riscos. Nesse período, destacam-se a consolidação das Normas Regulamentadoras e a implementação de programas preventivos que contribuíram para a estruturação de uma cultura de prevenção (DE CICCO; FANTAZZINI, 2014).

Entretanto, tais modelos ainda apresentavam limitações, sobretudo no que se refere à capacidade de monitoramento contínuo e à antecipação de eventos críticos. A dependência de inspeções periódicas e da intervenção humana restringia a eficácia das ações preventivas, especialmente em ambientes industriais complexos e dinâmicos (CHIAVENATO, 2014; CARVALHO, 2019).

Com a emergência da Indústria 4.0, caracterizada pela integração de sistemas ciberfísicos, automação avançada, computação em nuvem e análise de grandes volumes de dados, a segurança do trabalho passa por uma nova transformação paradigmática. Nesse contexto, os processos produtivos tornam-se altamente conectados e inteligentes, permitindo a coleta e análise de dados em tempo real (QUEIRÓS, 2023).

A segurança ocupacional, inserida nesse cenário, evolui para um modelo preditivo, no qual a identificação de riscos ocorre antes da ocorrência de eventos adversos. Tecnologias como sensores inteligentes, sistemas embarcados e algoritmos de análise de dados permitem o monitoramento contínuo de variáveis críticas, como temperatura, vibração, corrente elétrica e níveis de gases (SILVA; OLIVEIRA, 2020; FALCÃO; MENEZES, 2021).

Dessa forma, a segurança do trabalho deixa de ser uma atividade isolada e passa a integrar um ecossistema digital, no qual a tomada de decisão é baseada em evidências e suportada por sistemas inteligentes, aumentando significativamente a eficiência das ações preventivas (CARVALHO, 2019; QUEIRÓS, 2023).

2.2 Fundamentos da Internet das Coisas na Engenharia Elétrica

A Internet das Coisas (IoT) pode ser definida como um paradigma tecnológico que possibilita a interconexão de objetos físicos por meio de redes de comunicação, permitindo a coleta, transmissão e processamento de dados em tempo real (GUBBI et al., 2013).

No contexto da Engenharia Elétrica, a IoT assume um papel central na integração entre sistemas físicos e digitais, sendo composta por uma arquitetura em camadas que organiza suas funcionalidades. A primeira camada, denominada camada de percepção, é responsável pela aquisição de dados do ambiente físico. Nessa camada, atuam sensores e atuadores eletroeletrônicos capazes de medir grandezas como temperatura, corrente elétrica, vibração, pressão e concentração de gases (CRUZ, 2018).

A segunda camada, conhecida como camada de rede, é responsável pela transmissão dos dados coletados. Essa comunicação pode ocorrer por meio de diferentes protocolos, como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRa e redes industriais específicas. A

escolha do protocolo depende de fatores como alcance, consumo energético, taxa de transmissão e ambiente de aplicação (GUBBI et al., 2013).

A terceira camada, denominada camada de aplicação, envolve o processamento e a análise dos dados, utilizando plataformas computacionais, algoritmos e sistemas de visualização. Nessa etapa, os dados são transformados em informações relevantes, permitindo a tomada de decisões em tempo real ou a geração de alertas automáticos (QUEIRÓS, 2023).

Além dessas três camadas, estudos mais recentes incorporam uma quarta dimensão relacionada à inteligência analítica, envolvendo técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial, que permitem a identificação de padrões complexos e a previsão de falhas (FALCÃO; MENEZES, 2021).

Sob a perspectiva da Engenharia Elétrica, a IoT envolve desafios técnicos relevantes, como o dimensionamento energético dos sistemas, a confiabilidade das medições, a imunidade a interferências eletromagnéticas e a integração com sistemas industriais existentes. Dessa forma, a atuação do engenheiro eletricista é essencial para garantir o desempenho e a robustez dessas soluções (CRUZ, 2018; QUEIRÓS, 2023).

2.3 Aplicações da IoT na Segurança do Trabalho

A aplicação da Internet das Coisas na segurança do trabalho representa um avanço significativo na forma como os riscos ocupacionais são identificados, monitorados e mitigados. Por meio da utilização de sensores distribuídos e sistemas de comunicação em tempo real, torna-se possível acompanhar continuamente as condições ambientais e operacionais dos ambientes industriais (BARRETO; SILVA; OLIVEIRA, 2020).

Entre as principais aplicações, destacam-se o monitoramento de variáveis físicas e elétricas, como temperatura, corrente, tensão, vibração e níveis de ruído, bem como a detecção de gases tóxicos e inflamáveis. Esses dados permitem identificar situações de risco antes que evoluam para acidentes, possibilitando intervenções rápidas e assertivas (FERREIRA, 2020; CARVALHO, 2019).

Além disso, a integração da IoT com sistemas de automação industrial possibilita a atuação automática em cenários críticos. Por exemplo, em caso de superaquecimento

de um equipamento, o sistema pode acionar mecanismos de desligamento automático, evitando danos maiores e protegendo os trabalhadores (BARRETO; SILVA; OLIVEIRA, 2020).

Outra aplicação relevante envolve o uso de dispositivos vestíveis, capazes de monitorar parâmetros fisiológicos dos trabalhadores, como frequência cardíaca e fadiga, contribuindo para a prevenção de acidentes relacionados ao fator humano (GOMES, 2020).

Estudos recentes indicam que a adoção de soluções baseadas em IoT pode reduzir significativamente os índices de acidentes de trabalho, ao promover uma abordagem baseada em dados e na antecipação de riscos. Além disso, essas tecnologias contribuem para a melhoria da gestão da segurança, ao fornecer informações precisas e em tempo real para os gestores (BARRETO; SILVA; OLIVEIRA, 2020; SILVA; OLIVEIRA, 2020).

2.4 Desafios Técnicos e Organizacionais da IoT

Apesar das inúmeras vantagens associadas à utilização da IoT na segurança do trabalho, sua implementação apresenta desafios relevantes que devem ser considerados para garantir sua eficácia.

Do ponto de vista técnico, destacam-se questões relacionadas à confiabilidade dos sensores, à precisão das medições e à robustez dos sistemas de comunicação. Em ambientes industriais, a presença de interferências eletromagnéticas, temperaturas extremas e condições adversas pode comprometer o desempenho dos dispositivos (CRUZ, 2018; QUEIRÓS, 2023).

Outro aspecto crítico refere-se ao consumo energético dos dispositivos IoT, especialmente em sistemas que operam de forma contínua. A necessidade de autonomia prolongada exige o desenvolvimento de soluções eficientes, como o uso de modos de baixo consumo e técnicas de coleta de energia (energy harvesting), de modo a garantir continuidade operacional e viabilidade técnica (GUBBI et al., 2013).

A segurança da informação também constitui um desafio significativo, uma vez que sistemas IoT estão sujeitos a vulnerabilidades que podem comprometer a integridade e

a confidencialidade dos dados. Nesse contexto, torna-se essencial a implementação de mecanismos de criptografia, autenticação e controle de acesso (OLIVEIRA, 2021).

No âmbito organizacional, a adoção da IoT pode enfrentar resistência por parte dos colaboradores, seja pela dificuldade de adaptação às novas tecnologias ou por preocupações relacionadas à privacidade. A necessidade de capacitação técnica e a mudança na cultura organizacional são fatores determinantes para o sucesso da implementação (SANTOS; ALMEIDA, 2020; GOMES, 2020).

Além disso, aspectos regulatórios, como a conformidade com legislações de proteção de dados, exigem atenção especial, sobretudo quando há coleta de informações relacionadas aos trabalhadores (OLIVEIRA, 2021).

Dessa forma, a implementação eficaz da IoT na segurança do trabalho requer uma abordagem integrada, que considere simultaneamente aspectos tecnológicos, humanos e legais, garantindo não apenas a eficiência do sistema, mas também sua aceitação e sustentabilidade ao longo do tempo (MENEZES; ROCHA, 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A trajetória desenvolvida ao longo deste projeto integrador permitiu consolidar a compreensão de que a Internet das Coisas, quando concebida sob a perspectiva da Engenharia Elétrica, ultrapassa seu caráter meramente instrumental e se configura como uma tecnologia estruturante na transformação dos modelos de segurança do trabalho.

Ao integrar sensoriamento, comunicação e processamento de dados, a IoT possibilita a transição de abordagens reativas para modelos preditivos, baseados em evidências e orientados por dados em tempo real (GUBBI et al., 2013; QUEIRÓS, 2023).

A arquitetura proposta, sustentada por especificações técnicas detalhadas, modelagem energética e análise crítica de limitações, evidencia não apenas a viabilidade da aplicação da IoT em ambientes industriais, mas também seu potencial de evolução. Nesse sentido, o trabalho não se apresenta como um ponto final, mas como uma base consistente para o desenvolvimento de soluções mais avançadas, escaláveis e adaptadas às demandas dinâmicas da indústria contemporânea (CRUZ, 2018; MENEZES; ROCHA, 2022).

No contexto da Indústria 4.0, a segurança do trabalho deixa de ser compreendida exclusivamente como um conjunto de normas e procedimentos, passando a ser concebida como um sistema inteligente, integrado e contínuo. Tal sistema é fundamentado na convergência entre tecnologias digitais e competências humanas, no qual o engenheiro eletricista assume papel central na concepção, implementação e manutenção de soluções seguras, confiáveis e eficientes (QUEIRÓS, 2023; GOMES, 2020).

Adicionalmente, destaca-se que a incorporação de tecnologias como a IoT não elimina a dimensão humana da segurança, mas a potencializa. A utilização de dados em tempo real, aliada à interpretação técnica e à tomada de decisão responsável, contribui para a construção de ambientes laborais mais seguros, sustentáveis e orientados à valorização da vida (GOMES, 2020; CARVALHO, 2019).

Por fim, este trabalho reforça a importância da continuidade das investigações na área, especialmente no que se refere à validação experimental, à integração com técnicas de inteligência artificial e ao aprofundamento das questões relacionadas à segurança da informação e à ética no uso de dados (FALCÃO; MENEZES, 2021; OLIVEIRA, 2021). Assim, espera-se que os resultados aqui apresentados sirvam como referência e inspiração para futuras pesquisas e aplicações, contribuindo para a formação de profissionais capazes de atuar de forma crítica, inovadora e comprometida com a segurança e o bem-estar no ambiente de trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, J. M.; SILVA, R. C.; OLIVEIRA, P. T. Internet das Coisas na segurança do trabalho: estudo de caso em indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 45, n. 2, p. 105-118, 2020.

CARVALHO, L. F. **Tecnologias aplicadas à gestão de segurança do trabalho**. São Paulo: Blucher, 2019.

CHIAVENATO, I. **Gestão de pessoas**: o novo papel dos recursos humanos nas organizações. 4. ed. Barueri: Manole, 2014.

- CRUZ, T. **Sistemas de informação na segurança do trabalho**. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- DE CICCIO, F.; FANTAZZINI, M. L. **Tecnologia aplicada à segurança do trabalho**. São Paulo: Atlas, 2014.
- FALCÃO, J. R.; MENEZES, L. C. Algoritmos de aprendizado de máquina para predição de riscos ocupacionais. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 55-68, 2021.
- FERREIRA, A. P. **IoT na construção civil: monitoramento inteligente de riscos estruturais**. Belo Horizonte: Editora PUC Minas, 2020.
- GOMES, M. S. Fator humano na implementação de tecnologias de segurança: uma abordagem integrada. **Cadernos de Psicologia Social do Trabalho**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 141-156, 2020.
- GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, Amsterdam, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013.
- MENEZES, R. S.; ROCHA, T. F. Barreiras à adoção de IoT na gestão de SST: uma análise multicaseos. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 29, n. 3, p. 95-110, 2022.
- OLIVEIRA, R. M. Privacidade e proteção de dados em sistemas de monitoramento ocupacional. **Revista de Direito, Inovação e Tecnologia**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 45-68, 2021.
- QUEIRÓS, A. B. **Sistemas ciber-físicos na indústria 4.0: fundamentos e aplicações**. Porto Alegre: Bookman, 2023.
- SANTOS, E. G.; ALMEIDA, P. R. Cultura organizacional e inovação tecnológica: desafios na implementação de IoT. **RAUSP Management Journal**, São Paulo, v. 55, n. 1, p. 72-89, 2020.
- SILVA, J. A.; OLIVEIRA, M. F. Tecnologias disruptivas na gestão da segurança do trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia de Produção**, Vitória, v. 11, n. 2, p. 210-228, 2020.
- SOUZA, C. R. **Evolução histórica da segurança do trabalho no Brasil**. Curitiba: Juruá, 2016.