



UNIBRA
CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO

**CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO – UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO TECNÓLOGO DE REDES DE
COMPUTADORES**

André Vinícius Pereira Bernardo

Cesar Soares Nunes

Willyam Gabriell Melo Da Silva

Redes de sensores sem fio em ambientes industriais

Recife/2023

André Vinícius Pereira Bernardo

Cesar Soares Nunes

Willyam Gabriell Melo Da Silva

Redes de Sensores Sem Fio

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao centro universitário brasileiro – UNIBRA, Como requisito parcial para obtenção do título tecnológico em redes de computadores.

Professor(a) Orientador(a): Msc Ameliara Freire Santos Miranda.

Recife/2023

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

B518r Bernardo, André Vinícius Pereira.
Redes de sensores sem fio em ambientes industriais / André Vinícius Pereira Bernardo; Cesar Soares Nunes; Willyam Gabriell Melo da Silva. - Recife: O Autor, 2023.
10 p.
Orientador(a): MSc Ameliara Freire Santos de Miranda.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA. Tecnólogo em Redes de Computadores, 2023.
Inclui Referências.
1. Sensores. 2. Tecnologia sem fio. 3. Indústria 4.0. I. Nunes, Cesar Soares. II. Silva, Willyam Gabriell Melo da. III. Centro Universitário Brasileiro. - UNIBRA. IV. Título.

CDU: 004

Agradecimentos

Agradecemos aos professores, Luiz Sergio e Alexandre Mesquita por todo apoio e conselho que nos deram para que a gente conseguisse realizar nosso tcc, por toda ajuda e suporte, somos muito grato por ter vocês como nossos professores. Muito obrigado!

E lembrando os demais professores que passaram por nossa vida durante esses 2 anos e meio, a palavra e gratidão pra vocês pela paciência e por todo esforço pra nos ensinar. Obrigado!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 METODOLOGIA.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 PROTOCOLO WIFI.....	14
2.2 BLUETOOTH	15
2.3 RFID.....	15
CONCLUSÃO	17
REFERÊNCIAS.....	19

Redes de sensores sem fio em ambientes industriais

**André Vinícius Pereira Bernardo
César Soares Nunes
Willyam Gabriell Melo da Silva
Ameliara Freire Santos de Miranda**

RESUMO

A indústria 4.0 tem sido impulsionada pelo avanço dos sensores sem fio, que desempenham um papel fundamental na coleta de dados em tempo real e na automação dos processos industriais. Esses sensores proporcionam o monitoramento contínuo de variáveis críticas, como temperatura, umidade e pressão, permitindo uma tomada de decisão mais precisa e eficiente. Os sensores sem fio oferecem flexibilidade e mobilidade na instalação, eliminando a necessidade de cabos e fios complexos. Isso facilita a adaptação dos sensores a diferentes áreas da fábrica e permite a coleta de dados em locais de difícil acesso. Além disso, a integração desses sensores com outras tecnologias da indústria 4.0, como a IoT e a análise de dados, cria sistemas inteligentes e autônomos, promovendo uma visão integrada e uma gestão mais eficiente da cadeia produtiva. Os sensores sem fio também contribuem para a segurança nas fábricas, detectando precocemente condições anormais ou perigosas. Isso possibilita a adoção de medidas preventivas imediatas, minimizando riscos e protegendo os trabalhadores e os ativos da empresa. Com o contínuo avanço tecnológico, espera-se que os sensores sem fio evoluam ainda mais, tornando-se mais compactos e eficientes. Essa evolução abrirá novas possibilidades de aplicação dos sensores em áreas mais complexas, impulsionando a inovação e a competitividade da indústria. Em resumo, os sensores sem fio desempenham um papel crucial na transformação da indústria 4.0, proporcionando automação, eficiência, segurança e possibilitando a criação de fábricas inteligentes e conectadas.

Palavras-chave: Sensores. Tecnologia sem fio. Indústria 4.0.

ABSTRACT

Industry 4.0 has been driven by the advancement of wireless sensors, which play a key role in real-time data collection and the automation of industrial processes. These sensors provide continuous monitoring of critical variables such as temperature, humidity and pressure, allowing for more accurate and efficient decision-making. Wireless sensors offer installation flexibility and mobility, eliminating the need for complex cables and wires. This makes it easy to adapt the sensors to different areas of the plant and allows data collection in hard-to-reach places. In addition, the integration of these sensors with other Industry 4.0 technologies, such as IoT and data analysis, creates intelligent and autonomous systems, promoting an integrated vision and more efficient management of the production chain. Wireless sensors also contribute to safety in factories by detecting abnormal or dangerous conditions early. This makes it possible to adopt immediate preventive measures, minimizing risks and protecting workers and company assets. With continuous technological advancement, wireless sensors are expected to evolve further, becoming more compact and efficient. This evolution will open new possibilities for the application of sensors in more complex areas, boosting innovation and industry competitiveness. In summary, wireless sensors play a crucial role in transforming Industry 4.0, providing automation, efficiency, security and enabling the creation of smart and connected factories.

Keywords: Sensors. Wireless technology. Industry 4.0.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços na área de microprocessadores, materiais de sensoriamento, sistemas eletromecânicos (MEMS - Micro Electro-Mechanical Systems) e comunicação sem fio têm impulsionado o desenvolvimento e uso de sensores "inteligentes" em diversas áreas, incluindo processos físicos, químicos, biológicos, entre outros. É comum encontrar em um único chip vários sensores que são controlados pela lógica do circuito integrado e possuem uma interface de comunicação sem fio. O termo "sensor inteligente" é aplicado ao chip que contém um ou mais sensores com capacidade de processamento de sinais e transmissão de dados. A tendência é produzir esses sensores em larga escala, reduzindo seus custos, e investir ainda mais no desenvolvimento tecnológico desses dispositivos, resultando em novas melhorias e capacidades (LOUREIRO et al., 2003).

As redes de sensores sem fio têm se tornado uma tecnologia promissora e de grande relevância para ambientes industriais. Essas redes consistem em dispositivos sensores distribuídos que coletam e transmitem dados de forma sem fio, permitindo o monitoramento e controle de diferentes parâmetros e processos nas indústrias. Com a crescente demanda por maior eficiência, automação e otimização dos processos industriais, as redes de sensores sem fio apresentam-se como uma solução viável e eficaz (LOUREIRO et al., 2003).

O objetivo desta pesquisa é investigar o uso e a aplicação das redes de sensores sem fio em ambientes industriais, visando compreender os benefícios e desafios que essa tecnologia oferece. Pretende-se analisar como as redes de sensores sem fio podem contribuir para o monitoramento e controle de parâmetros, o aumento da eficiência operacional e a redução de custos nas indústrias.

A adoção de redes de sensores sem fio em ambientes industriais tem despertado grande interesse tanto do setor acadêmico quanto do setor industrial. O uso dessas redes pode proporcionar uma série de vantagens, como a coleta e transmissão de dados em tempo real, a redução da necessidade de fiação complexa, a flexibilidade e mobilidade dos sensores, além da capacidade de integração com sistemas de controle e gestão industrial. No entanto, apesar das promessas, ainda há desafios a serem superados em relação à eficiência energética, confiabilidade, segurança e escalabilidade dessas redes.

Nesse contexto, esta pesquisa se justifica pela necessidade de aprofundar o conhecimento sobre o uso das redes de sensores sem fio em ambientes industriais, destacando seus benefícios e desafios. Compreender os impactos dessa tecnologia no monitoramento e controle de processos industriais pode auxiliar empresas e profissionais do setor na tomada de decisões estratégicas relacionadas à adoção de redes de sensores sem fio. Além disso, o estudo contribuirá para o avanço do conhecimento científico na área, fornecendo insights para o desenvolvimento e aprimoramento dessas redes, impulsionando a inovação tecnológica na indústria.

1.1 METODOLOGIA

O estudo seguiu os seguintes passos:

Definição do escopo da pesquisa. A qual teve como objetivo geral comparar os resultados antes e depois da implementação de redes de sensores sem fio em uma indústria, analisando o tempo de processamento em determinados setores e a redução de custos relacionados à operação manual dos maquinários.

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre redes de sensores sem fio, automação industrial, tempo de processamento e custos operacionais. Foram consultadas bases de dados científicas, periódicos especializados, livros e documentos relevantes para embasar teoricamente a pesquisa.

A partir da revisão bibliográfica, foram selecionados os artigos, estudos e pesquisas que abordem a implementação de redes de sensores sem fio em indústrias, com foco na análise do tempo de processamento e redução de custos. Serão considerados critérios como relevância, qualidade metodológica e alinhamento com os objetivos da pesquisa.

Análise e síntese dos resultados: Os dados e informações obtidos na revisão bibliográfica foram analisados e sintetizados, identificando os principais achados e tendências relacionados à implementação de redes de sensores sem fio em indústrias dando ênfase aos impactos no tempo de processamento e nos custos operacionais.

Com base na análise dos resultados, foi elaborado o relatório final da pesquisa, apresentando de forma clara e organizada os principais achados, conclusões e recomendações. O relatório também inclui uma discussão dos resultados em relação

aos objetivos propostos, bem como possíveis limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) apresentam diversas características distintas em comparação com as redes de computadores convencionais. Normalmente, essas redes são compostas por um grande número de nós distribuídos, possuem restrições energéticas e exigem mecanismos de autoconfiguração e adaptação para lidar com problemas como falhas de comunicação e perda de nós. Uma RSSF é autônoma e requer um alto nível de cooperação entre os nós para executar as tarefas definidas para a rede. Isso implica que algoritmos distribuídos tradicionais, como protocolos de comunicação e eleição de líderes, precisam ser revisados antes de serem aplicados diretamente. Os desafios e considerações de projeto para RSSFs vão além dos encontrados em redes tradicionais (LOUREIRO et al., 2003).

Nessas redes, cada nó é equipado com diversos tipos de sensores, como acústicos, sísmicos, infravermelhos, câmeras de vídeo, calor, temperatura e pressão. Esses nós podem ser agrupados em clusters, nos quais pelo menos um dos sensores é capaz de detectar um evento na região, processá-lo e tomar uma decisão sobre a necessidade de disseminar o resultado para outros nós. A visão é que as RSSFs estejam disponíveis em qualquer lugar, desempenhando uma ampla variedade de tarefas (LOUREIRO et al., 2003).

Foram desenvolvidas diversas aplicações utilizando um ou mais tipos de nós sensores. As Redes de Sensores sem Fio (RSSFs) podem ser homogêneas ou heterogêneas em relação aos tipos, dimensões e funcionalidades dos nós sensores. Por exemplo, em aplicações de monitoramento de segurança, podem ser utilizados sensores de imagem e acústicos, embutidos no mesmo nó sensor ou em nós diferentes. Nesse caso, os tipos de dados coletados pela rede de sensores incluem imagens, vídeos e sinais de áudio. Uma característica importante dessa aplicação é o alto volume de dados e a frequência de coleta. Se os nós sensores forem responsáveis pelo processamento das imagens coletadas, é necessário que esses nós tenham dimensões maiores do que os micro-sensores. Isso ocorre devido ao esforço exigido pelo processamento de imagens, o que implica em nós sensores com

maior poder de processamento, mais memória e, conseqüentemente, maior consumo de energia. As dimensões físicas dos sensores dependem do tipo de aplicação e da tecnologia atual de fabricação de seus componentes (LOUREIRO et al., 2003).

Existem aplicações em que todos os nós são homogêneos em termos de suas dimensões, possuindo as mesmas características físicas. Ao longo da vida útil da rede, esses nós podem alterar suas funcionalidades e estados, mas suas características de fabricação permanecem inalteradas. Na maioria das vezes, existe uma relação de igualdade de capacidades e habilidades entre os nós (peer-to-peer) (LOUREIRO et al., 2003).

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) consistem em nós que estão equipados com sensores ou atuadores e possuem capacidade de comunicação por meio de radiofrequência. Além disso, esses nós podem ter capacidade de processamento, o que permite a incorporação de inteligência nos dispositivos, aprimorando o uso do canal de comunicação. Os nós sensores enfrentam restrições de recursos, como poder de processamento limitado e, em alguns casos, restrições de consumo de energia (SOUSA, M. P.; LOPES, 2011).

Em ambientes industriais, as RSSFs são implantadas em equipamentos para monitorar parâmetros críticos, como vibração, temperatura, pressão e eficiência [5]. As medições realizadas pelos sensores são transmitidas sem fio para um nó sorvedouro, responsável por fornecer as informações para análise em um centro de monitoramento. Com base nessas informações, é possível realizar reparos ou substituições nos equipamentos antes que ocorram prejuízos significativos (GUNGOR; HANCK, 2009).

Segundo as pesquisas de Wang (2016), tem havido uma crescente incorporação de tecnologias inovadoras nos ambientes industriais, como Internet das Coisas (IoT), redes sem fio, big data, computação em nuvem, sistemas embarcados e internet móvel. Essa introdução progressiva dessas tecnologias tem sido reconhecida como o ponto de partida para a quarta revolução industrial.

De acordo com Saltiel (2017), a Indústria 4.0, também conhecida como IoT, utiliza redes sem fio para estabelecer a conectividade em tempo real entre todos os elementos envolvidos no processo produtivo. Máquinas, dispositivos, produtos e pessoas contribuem para a transparência total das informações, permitindo que as

máquinas se comuniquem de maneira autônoma e atribuam tarefas e funções para garantir o correto funcionamento da fábrica.

Para implementar efetivamente a Indústria 4.0, é crucial considerar as três principais características a seguir:

- (1) integração horizontal por meio de redes de valor,
- (2) integração vertical e sistemas de fabricação em rede e
- (3) integração digital de ponta a ponta de engenharia em toda a cadeia de valor.

O cenário da integração vertical é a fábrica, então a integração vertical significa implementar a fábrica inteligente altamente flexível e configurável. Portanto, acredita-se que a fábrica inteligente seja capaz de produzir produtos personalizados e de pequenos lotes de forma eficiente e lucrativa. Antes da fabricação inteligente da Indústria 4.0, muitos outros esquemas avançados de manufatura já foram propostos para superar as desvantagens das linhas de produção tradicionais, por exemplo, a manufatura flexível e a manufatura ágil. Dentre esses esquemas, o sistema multiagente (MAS) é o mais representativo (QIN; CHENG, 2017).

Os recursos de manufatura são definidos como agentes inteligentes que negociam entre si para implementar a reconfiguração dinâmica para obter flexibilidade. No entanto, é difícil para o, MAS lidar com a complexidade do sistema de manufatura, por isso ainda carece de uma implementação, MAS geralmente aceita. Em nossa opinião, a rede sem fio industrial assistida por nuvem (IWN) pode suportar adequadamente a fábrica inteligente implementando IoT e serviços (QIN; CHENG, 2017).

Dessa forma, os artefatos inteligentes podem se comunicar e negociar entre si por meio do IWN para implementar a auto-organização, e os dados massivos podem ser carregados e processados pela nuvem que possui espaço de armazenamento escalável e poderosa capacidade de computação para implementar todo o sistema coordenação.

Na era da indústria 4.0, uma ampla variedade de dispositivos com diferentes modelos de tecnologia e protocolos de comunicação são empregados. Cada ambiente fabril possui sua própria criptografia específica. Embora cada dispositivo tenha suas particularidades na forma de capturar informações, todos têm o objetivo de coletar e transmitir dados em tempo real, buscando melhorar a eficiência geral dentro do contexto industrial (SANTOS; VOLANTE, 2018).

2.1 PROTOCOLO WIFI

O protocolo Wi-Fi tem se destacado consideravelmente no setor industrial, sendo amplamente utilizado em diversas áreas. Ele possibilita a conectividade de computadores, máquinas, tablets, coletores e outros dispositivos variados. Esse tipo de conectividade opera em faixas de frequência de 2,4 GHz ou 5 GHz. A instalação não requer licenças específicas para a operação, e é possível obter velocidades de transmissão de dados de no mínimo 11 Mbps em um raio de 30 metros (LUGLI, 2012).

Conforme o site TP-Link (2013), a principal diferença entre as frequências está na capacidade de transmissão de dados. A frequência de 2,4 GHz possui uma taxa de transmissão mais elevada, porém, devido à presença de vários dispositivos que operam na mesma faixa, pode ocorrer interferência. Por outro lado, a frequência de 5 GHz tem um alcance de transmissão menor, mas apresenta um aproveitamento melhor devido à menor quantidade de dispositivos que utilizam essa faixa. A escolha da frequência a ser utilizada dependerá da quantidade de dispositivos presentes no ambiente.

Esse tipo de transmissão de dados é altamente vantajoso para o ambiente industrial, oferecendo uma notável flexibilidade. No entanto, em comparação com as redes cabeadas, a transmissão de dados ainda é inferior.

Conforme Lugli (2012), é fundamental avaliar cuidadosamente os padrões de validação desse tipo de conectividade nos ambientes de produção antes de sua implantação, a fim de evitar erros ou perdas de dados decorrentes da arquitetura do ambiente fabril. É importante considerar o local onde a tecnologia será implantada e onde os equipamentos permanecerão, a fim de evitar problemas de interferência e exposição a elementos como poeira, pó, calor e umidade.

O WirelessHART, lançado em 2007, é considerado o primeiro padrão aberto destinado ao monitoramento e controle utilizando redes sem fio em ambientes industriais. Ele utiliza 15 canais na banda de 2,4 GHz, excluindo o canal 26 em alguns países. O acesso ao meio é realizado por meio de acesso múltiplo por divisão no tempo (TDMA), o que visa reduzir colisões e o consumo de energia (GOMES et al., 2014).

Uma característica do WirelessHART é o uso de um mecanismo de salto em frequência para mitigar os efeitos de interferência. Para evitar o uso de canais com baixa qualidade, o padrão emprega o mecanismo de Blacklisting. Nesse mecanismo,

os canais com baixa qualidade não são incluídos na sequência pseudoaleatória gerada pelo salto em frequência. No entanto, a configuração da lista de canais não é feita automaticamente, mas sim por um administrador de rede. Dado o caráter altamente dinâmico dos canais em RSSFs, tanto espacialmente quanto temporalmente, uma abordagem centralizada na definição da lista de canais pode não fornecer uma boa qualidade de serviço (GOMES et al., 2014).

Na camada de rede, o WirelessHART é baseado em uma estrutura de rede em malha com rotas redundantes. Essa característica, que não está presente no ZigBee e no MiWi, permite aumentar a confiabilidade e a tolerância a falhas. As rotas são definidas de forma centralizada por uma unidade central, conhecida como administrador de rede. Essa unidade central também é responsável por sincronizar o tempo entre todos os nós da rede, garantindo o funcionamento adequado do mecanismo TDMA. Além disso, rotas redundantes também podem ser implementadas em rádios totalmente compatíveis com o padrão IEEE 802.15.4 (GOMES et al., 2014).

2.2 BLUETOOTH

Embora tenha sido desenvolvida no início dos anos 90, a tecnologia Bluetooth só foi lançada para uso industrial no final de 1999, durante o advento da indústria 4.0.

Conforme descrito por Siqueira (2006), o Bluetooth é uma forma de conectividade por meio de radiofrequência de curto alcance, projetada para a transmissão de dados e troca de informações entre dispositivos dentro da mesma rede. Além de ter um custo acessível, o Bluetooth também é conhecido por seu baixo consumo de energia.

Segundo Siqueira (2006), ao utilizar uma rede baseada na arquitetura Bluetooth, é possível estabelecer comunicação entre até 8 dispositivos em um alcance máximo de 100 metros. Essa tecnologia pode ser aplicada em diversos dispositivos próximos uns aos outros.

2.3 RFID

Conforme mencionado pela Totvs (2017), à medida que as empresas se adaptam à indústria 4.0, surge uma necessidade real de utilizar a tecnologia RFID (Identificação por Radiofrequência).

De acordo com as informações disponibilizadas no site da Totvs (2017), os RFIDs são etiquetas ou sensores equipados com microchips capazes de transmitir ou armazenar dados. Essa tecnologia sem fio é amplamente empregada em sistemas de identificação e rastreamento de objetos, bem como em dispositivos como walkie-talkies, que, em vez de transmitir sons, emitem sinais de dados.

O portal GS1 Brasil (2017), vinculado à Associação Brasileira de Automação, destaca que a tecnologia RFID representa uma revolução na indústria 4.0 no que diz respeito à identificação de produtos. Ela possui um impacto significativo nos sistemas logísticos e na cadeia de abastecimento como um todo.

A validação contínua da operação de redes de sensores sem fio em ambientes industriais é um processo importante. É essencial realizar análises de desempenho de rádios que utilizam o padrão IEEE. Essas análises fornecem fundamentos sólidos e valiosos para auxiliar o desenvolvimento de novas tecnologias e protocolos de redes de sensores, além de orientar as decisões de projeto para aplicações de redes de sensores sem fio na indústria (GOMES, 2012).

os últimos dez anos, tem havido um avanço significativo na área de sensores, circuitos integrados e comunicação sem fio. Esse avanço possibilitou o desenvolvimento de pequenos dispositivos de baixo custo, com capacidade de processamento e comunicação em curtas distâncias, tornando-os viáveis. Essa tecnologia resultou no surgimento das redes de sensores sem fio (RSSF), que consistem em redes compostas por dispositivos equipados com sensores capazes de se comunicar por radiofrequência. Esses sensores podem fornecer respostas a mudanças em condições físicas, como temperatura, umidade ou campo magnético. Em geral, as RSSF têm como principal objetivo monitorar ambientes ou localizar objetos. Essas redes formam um novo tipo de rede ad hoc com um conjunto de características e desafios peculiares (LOUREIRO et al., 2003).

Também foram realizados experimentos para investigar a relação entre a taxa de perda de pacotes e a ocupação espectral no ambiente operacional da rede. O objetivo principal desse estudo foi avaliar o impacto causado pela introdução de novas fontes de interferência no ambiente, tanto em termos de ocupação espectral (uma métrica relacionada à qualidade do canal de comunicação) quanto em termos de taxa de perda de pacotes (uma métrica relacionada ao desempenho da comunicação). Seguindo a mesma metodologia definida, foram conduzidos experimentos para avaliar o desempenho da rede de sensores desenvolvida com dois nós finais. Os

experimentos foram realizados em um ambiente com características típicas de ambientes industriais (GOMES, 2012).

Os estudos demonstraram que a adição de novas fontes de interferência no ambiente pode afetar significativamente a ocupação espectral e ter um impacto direto no desempenho da comunicação. Em alguns cenários, a taxa média de perda de pacotes chegou a atingir cerca de 90%. Nessas condições, torna-se praticamente inviável realizar o monitoramento sem o uso de processamento local (GOMES, 2012).

Apesar das dificuldades na transmissão de dados usando a rede de sensores em alguns cenários, o sistema foi capaz de fornecer informações úteis para o monitoramento, uma vez que todo o processamento é realizado localmente. Além da capacidade de processamento, outras técnicas podem ser desenvolvidas para mitigar a interferência nesses ambientes, resultando em uma melhoria no desempenho da comunicação. Especificamente, para obter um melhor desempenho de comunicação em ambientes com muita interferência, os rádios precisam estar cientes da qualidade do canal de comunicação em que estão operando e tomar decisões com base nesse conhecimento (OLIVEIRA, 2015).

CONCLUSÃO

É inevitável que empresas de diferentes tamanhos adotem, em parte ou em sua totalidade, novas tecnologias em seus sistemas produtivos. Essas tecnologias geram um grande volume de dados, antes praticamente imperceptíveis, resultando em tomadas de decisão mais informadas e na integração de diversos processos, proporcionando um controle abrangente de todo o ambiente fabril. Esse é o objetivo central da quarta Revolução Industrial: aprimorar os processos de forma transparente, do início ao fim.

A qualidade da conectividade desempenha um papel extremamente importante na integração dos processos industriais, pois cada um deles possui sua própria finalidade e destaca-se em diferentes tipos de ambientes.

A tecnologia sem fio tem se destacado significativamente devido à sua flexibilidade e custo, no entanto, mesmo com suas vantagens, ainda precisa evoluir para auxiliar as conexões físicas dentro da fábrica.

Nesse sentido, além de serem facilitadoras dos processos, as tecnologias sem fio também se destacam na indústria 4.0, e podemos esperar grandes avanços dessa tecnologia no médio ou longo prazo.

O uso de sensores sem fio na Indústria 4.0 tem se mostrado essencial para impulsionar a automação e a eficiência dos processos industriais. Esses sensores proporcionam a coleta de dados em tempo real, permitindo o monitoramento contínuo de variáveis críticas, como temperatura, umidade, pressão e vibração. Isso possibilita uma tomada de decisão mais ágil e precisa, contribuindo para a otimização da produção e a redução de falhas.

Além disso, os sensores sem fio oferecem uma maior flexibilidade na instalação e manutenção, eliminando a necessidade de cabos e fios complexos. Isso simplifica o processo de implantação dos sensores em diferentes áreas da fábrica, permitindo uma rápida adaptação às mudanças e expansões da planta industrial. A mobilidade proporcionada pelos sensores sem fio também facilita a coleta de dados em locais de difícil acesso ou em movimento, ampliando ainda mais as possibilidades de monitoramento.

A integração dos sensores sem fio com outras tecnologias da Indústria 4.0, como a Internet das Coisas (IoT) e a análise de dados, promove a criação de sistemas inteligentes e autônomos. Com a capacidade de se comunicarem e trocarem informações entre si e com sistemas de controle, os sensores sem fio contribuem para a criação de uma rede interconectada de dispositivos e processos, possibilitando uma visão completa e integrada da cadeia produtiva.

Além dos benefícios em termos de automação e monitoramento, os sensores sem fio na Indústria 4.0 também oferecem vantagens em termos de segurança. Eles permitem a detecção precoce de condições anormais ou perigosas, como vazamentos de substâncias nocivas, aumentando a segurança dos trabalhadores e a proteção dos ativos da empresa. A rápida identificação de situações de risco possibilita a adoção de medidas preventivas imediatas, evitando acidentes e minimizando danos.

Com o contínuo avanço da tecnologia, espera-se que os sensores sem fio na Indústria 4.0 evoluam ainda mais, tornando-se mais compactos, eficientes e com maior capacidade de processamento. Essa evolução possibilitará a aplicação de sensores em áreas ainda mais diversas e complexas, impulsionando a inovação e a competitividade das indústrias. A utilização dos sensores sem fio na Indústria 4.0 é

uma tendência crescente e promissora, oferecendo benefícios significativos para a produtividade, eficiência e segurança nas fábricas do futuro.

REFERÊNCIAS

GOMES, Ruan D. et al. Desafios de redes de sensores sem fio industriais. *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, v. 4, n. 1, p. 16-27, 2014.

GOMES, Ruan Delgado et al. *Redes de sensores sem fio aplicadas ao monitoramento de motores em ambiente industrial*. 2012.

GUNGOR V.; HANCK, E G.. "Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 10, pp. 4258–4265, Oct 2009.

LOUREIRO, Antonio AF et al. *Redes de sensores sem fio*. In: *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*. sn, 2003. p. 179-226.

LUGLI, Alexandre Baratella. *Tecnologias Wireless para Automação Industrial*. 2012. Disponível em: <https://www.inatel.br/biblioteca/artigos-cientificos/2012/6088-tecnologiaswireless-para-automacao-industrial-wireless-hart-bluetooth-wisa-wi-fi-zigbee-e>

QIN, Sheng-Feng; CHENG, Kai. Future digital design and manufacturing: embracing industry 4.0 and beyond. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, v. 30, n. 5, p. 1047-1049, 2017.

SALTIÉL, Renan Mathias Ferreira. *Indústria 4.0 e Sistema Hyundai de Produção: suas interações e diferenças*. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317369702_Industria_40_e_Sistema_Hyundai_de_Producao_suas_interacoes_e_diferencas

SANTOS, Diego Rafael Guedes; VOLANTE, Carlos Rodrigo. A importância da tecnologia sem fio na Indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, v. 15, n. 2, p. 245-254, 2018.

SOUSA, M. P.; LOPES, W. T. A. "Desafios em Redes de Sensores sem Fio". *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, vol. 1, no. 1, pp. 41–47, 2011.

TOTVS. *A indústria inteligente exige tecnologia RFID*. 2017. Disponível em: <https://www.totvs.com/biblioteca/noticias/a-industria-inteligente-exige-tecnologia-rfid>

WANG, Shiyong et al. *Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook*. 2016. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1155/2016/3159805>.