

# APLICAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO

Luis Enrique Cardozo Ramirez

Adrian Alejandro Chavez Alanes

## **MONITORAMENTO AMBIENTAL** **PRA** **Detecção de incêndios florestais**

05/09/2024

—

T546-IoT

—

Prof. Samuel Baraldi

---

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. NOÇÕES BÁSICAS DE SENSORES SEM FIO .....</b>	<b>2</b>
2.1 Sensores de temperatura:.....	2
2.2 Sensores de umidade: .....	2
2.3 Sensores de qualidade do ar: .....	2
<b>3. TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO: .....</b>	<b>3</b>
3.1 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network): .....	3
3.2 Sigfox: .....	4
<b>4. APLICAÇÕES NO MONITORAMENTO AMBIENTAL .....</b>	<b>5</b>
4.1 Detecção de incêndios florestais: .....	5
<b>5. DESAFIOS E SOLUÇÕES .....</b>	<b>5</b>
5.1 Desafios técnicos: .....	6
5.1.1 Duração da bateria: .....	6
5.1.2 Conectividade em áreas remotas:.....	6
Impacto potencial: .....	7
<b>6. ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>7</b>
6.1 Detecção de incêndios florestais: Projeto FireWatch na Austrália .....	7
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>8</b>
<b>8. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>8</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente, o monitoramento ambiental tornou-se um componente essencial da sustentabilidade global, especialmente no contexto das mudanças climáticas e da degradação dos ecossistemas naturais. A frequência cada vez maior de eventos climáticos extremos, como incêndios florestais, enchentes e secas, juntamente com o agravamento da poluição do ar e da água, destacou a necessidade de desenvolver sistemas avançados que permitam o monitoramento contínuo e em tempo real das condições ambientais [1]. As redes de sensores sem fio (WSNs) surgiram como uma das soluções tecnológicas para enfrentar esses desafios, oferecendo a capacidade de coletar e transmitir dados ambientais de maneira eficiente, precisa e oportuna.

As RSSFs consistem em nós sensores estrategicamente distribuídos em uma área geográfica, equipados com recursos de detecção, processamento e comunicação, que cooperam para monitorar vários parâmetros ambientais. A capacidade dessas redes de operar em áreas remotas e de difícil acesso, seu baixo custo de implementação e operação e sua escalabilidade as tornaram uma solução fundamental para o gerenciamento de riscos ambientais e a proteção de recursos naturais [2]. A integração de tecnologias de comunicação de baixo consumo de energia, como Zigbee, LoRaWAN e Bluetooth Low Energy (BLE), permite a transmissão eficiente de dados de vários pontos de monitoramento para um centro de processamento, onde os dados são analisados para a tomada de decisões em tempo real [3].

### **Objetivo do documento:**

O objetivo deste documento é fornecer uma análise do uso de redes de sensores sem fio no monitoramento ambiental, com foco específico na detecção de incêndios florestais e na medição da qualidade do ar. São apresentados os fundamentos técnicos das RSSFs, incluindo os diferentes tipos de sensores usados e as tecnologias de comunicação que facilitam a transmissão de dados. Além disso, serão apresentados estudos de caso que demonstram a aplicação prática dessas tecnologias no monitoramento ambiental, bem como os benefícios derivados da implementação das RSSFs nesses contextos.

## **2. NOÇÕES BÁSICAS DE SENSORES SEM FIO**

No monitoramento ambiental, a escolha dos sensores é um fator determinante para a eficiência e a precisão do sistema de rede de sensores sem fio (WSN). Os sensores devem ser capazes de detectar alterações em parâmetros ambientais específicos, transmitir dados com eficiência e operar em condições extremas por longos períodos sem intervenção humana. A seguir, descrevemos os tipos de sensores mais comumente usados em aplicações de monitoramento ambiental.

### **2.1 Sensores de temperatura:**

Os sensores de temperatura são fundamentais em diversas aplicações de monitoramento ambiental, incluindo a detecção de incêndios florestais e o monitoramento da temperatura da água em corpos naturais. Esses sensores medem a temperatura do ambiente e fornecem dados críticos para identificar variações que podem indicar o início de um incêndio ou mudanças nas condições ambientais que podem afetar os ecossistemas aquáticos. Os sensores sem fio, como o **Elsys ERS LoRaWAN** e o **Bosch CISS LoRaWAN**, são amplamente usados devido à sua capacidade de transmissão de longa distância e ao baixo consumo de energia, o que os torna ideais para implantações em áreas remotas [4].

### **2.2 Sensores de umidade:**

A umidade relativa é um parâmetro crucial no monitoramento de incêndios florestais e na agricultura de precisão. Os sensores de umidade, como o **Dragino LSN50v2-D20 LoRaWAN** e o **Connected Inventions C7 Sigfox**, medem a quantidade de vapor de água no ar, fornecendo informações valiosas sobre as condições que podem favorecer a ignição e a propagação de incêndios. Além disso, na agricultura, esses sensores ajudam a otimizar a irrigação, fornecendo dados precisos sobre a umidade do solo, o que contribui para um uso mais eficiente da água [5].

### **2.3 Sensores de qualidade do ar:**

A qualidade do ar é um aspecto fundamental da saúde pública e da proteção ambiental. Os sensores de qualidade do ar detectam poluentes como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e material particulado (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), que são indicativos da qualidade do ar em uma região específica. Sensores como o **Libelium Waspmote Plug & Sense! Smart Environment PRO LoRaWAN** e o **Sensor Ambiental SENSEnrg Sigfox**



são usados para monitorar a concentração desses poluentes, permitindo a identificação de tendências e o disparo de alertas se os níveis excederem os limites seguros definidos pelas autoridades de saúde [6].

### **3. TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO:**

A transmissão de dados de sensores para um nó central ou para a nuvem é um componente essencial das redes de sensores sem fio (WSNs). A escolha da tecnologia de comunicação correta tem impacto direto sobre a eficiência energética, o alcance, a latência e a capacidade da rede, aspectos essenciais no projeto e na implantação de sistemas de IoT (Internet das Coisas).

#### **3.1 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network):**

A LoRaWAN é uma tecnologia de comunicação de longo alcance projetada especificamente para aplicativos de IoT que exigem baixo consumo de energia e conectividade de área ampla. Operando em bandas de frequência de subgigahertz, a LoRaWAN permite a transmissão de dados em distâncias de até 10 quilômetros em ambientes rurais e de 2 a 5 quilômetros em ambientes urbanos, dependendo das condições de propagação e da topografia do terreno. Essa capacidade de longo alcance se deve à modulação LoRa, que emprega técnicas de espectro de propagação de radiofrequência, melhorando a sensibilidade do receptor e permitindo a comunicação em longas distâncias com potência de transmissão relativamente baixa.

A eficiência energética é um dos principais atributos da LoRaWAN, o que a torna particularmente adequada para dispositivos alimentados por bateria que exigem uma longa vida útil sem manutenção frequente. Esse baixo consumo de energia é obtido com a implementação de uma arquitetura de rede assíncrona, em que os nós só são ativados para transmitir dados quando necessário, reduzindo o tempo de transmissão e, portanto, o consumo de energia. Em aplicações de IoT, como monitoramento ambiental, em que os sensores podem ser implantados em vastas áreas geográficas e a conectividade convencional pode não ser viável, a LoRaWAN se apresenta como uma solução ideal [7].

Além disso, a LoRaWAN suporta uma arquitetura de rede em estrela, na qual os dispositivos finais se comunicam diretamente com os gateways, que, por sua vez, retransmitem dados por redes IP padrão para um servidor central. Essa arquitetura

permite uma implementação escalonável, que pode ser adaptada a diferentes tamanhos de rede e necessidades de aplicativos, desde pequenas implantações locais até infraestruturas de comunicação de âmbito nacional. A capacidade da LoRaWAN de gerenciar vários dispositivos em um único canal, separando os dados por tempo, frequência e códigos de acesso, contribui para sua eficiência espectral e robustez em ambientes de alta densidade de dispositivos [8].

### 3.2 Sigfox:

A Sigfox é uma tecnologia de comunicação de longo alcance projetada para a transmissão de pequenas quantidades de dados em longas distâncias, com consumo de energia extremamente baixo. A tecnologia opera na banda de 868 MHz na Europa e 902 MHz na América do Norte, aproveitando o espectro de radiofrequência não licenciado para fornecer conectividade em aplicativos de IoT de baixa largura de banda. A Sigfox é particularmente adequada para cenários em que é necessária uma solução de comunicação simples, econômica e de ampla cobertura [9].

A arquitetura Sigfox é baseada em uma rede de longo alcance e baixa potência (LPWAN), na qual os dispositivos terminais se comunicam com estações de base distribuídas em uma rede global. Diferentemente de outras tecnologias, a Sigfox usa uma abordagem de banda ultra estreita (UNB), que permite alcançar longas distâncias de comunicação (até 50 quilômetros em áreas rurais e 10 quilômetros em ambientes urbanos) com interferência mínima e consumo de energia extremamente baixo. Esse recurso é essencial para aplicações em que os dispositivos precisam operar por vários anos com uma única bateria, como monitoramento remoto de infraestrutura, gerenciamento de ativos e rastreamento da cadeia de suprimentos [10].

Uma das principais vantagens da Sigfox é sua simplicidade operacional. Os dispositivos Sigfox são capazes de enviar mensagens curtas e pouco frequentes, com um tamanho máximo de 12 bytes por mensagem e até 140 mensagens por dia. Isso torna a Sigfox ideal para aplicações em que é necessária uma comunicação esporádica, mas confiável, como o monitoramento ambiental em áreas agrícolas ou industriais. Nesses ambientes, vários sensores podem ser implantados para monitorar parâmetros como umidade, temperatura ou níveis de CO<sub>2</sub>, e transmitir esses dados para uma base central de forma eficiente e econômica [11].

## **4. APLICAÇÕES NO MONITORAMENTO AMBIENTAL**

As redes de sensores sem fio (WSNs) provaram ser ferramentas altamente eficazes no monitoramento ambiental, fornecendo recursos avançados para detecção, medição e análise em tempo real de vários parâmetros ambientais. As aplicações dessas tecnologias no campo da engenharia ambiental são amplas e vão desde a detecção precoce de incêndios florestais até o monitoramento da qualidade do ar.

### **4.1 Detecção de incêndios florestais:**

Os incêndios florestais representam uma ameaça significativa aos ecossistemas naturais, à infraestrutura e às vidas humanas. A detecção precoce de incêndios é fundamental para minimizar os danos e permitir uma resposta rápida e eficaz. As WSNs surgiram como uma solução importante nesse campo, permitindo o monitoramento contínuo e em tempo real das condições ambientais em áreas florestais propensas a incêndios.

Implementação e tecnologias de comunicação:

As redes de sensores em ambientes florestais geralmente são implementadas usando tecnologias de comunicação de baixa potência e longo alcance, como a LoRaWAN, devido à necessidade de cobrir vastas áreas com infraestrutura mínima. A LoRaWAN permite que os nós sensores transmitam dados para uma estação base localizada a vários quilômetros de distância, o que é essencial em áreas rurais e florestais onde a conectividade é limitada. A rede de sensores pode ser configurada em uma topologia de malha, aumentando a resiliência e a confiabilidade da rede ao permitir vários caminhos de transmissão de dados [9].

## **5. DESAFIOS E SOLUÇÕES**

A implementação de redes de sensores sem fio (WSNs) no monitoramento ambiental oferece inúmeros benefícios, mas também enfrenta vários desafios técnicos e operacionais. Esses desafios devem ser enfrentados para maximizar a eficácia e a sustentabilidade das RSSFs em aplicações essenciais, como a detecção de incêndios florestais e o monitoramento da qualidade do ar. Nesta seção, discutimos os principais desafios associados à implantação de RSSFs em ambientes reais e propomos soluções baseadas na literatura científica e em estudos de caso bem-sucedidos.

## 5.1 Desafios técnicos:

### 5.1.1 Duração da bateria:

Um dos principais desafios na implementação de WSNs é a vida útil limitada da bateria dos nós sensores. Como muitos aplicativos de monitoramento ambiental exigem que os sensores operem continuamente e em áreas remotas, a necessidade de substituir ou recarregar as baterias regularmente pode ser impraticável e cara. Esse problema é exacerbado em redes de grande escala, onde o número de nós é alto.

### **Solução proposta:**

**Energia solar:** a integração de painéis solares com nós sensores provou ser uma solução eficaz para aumentar a vida útil das WSNs em aplicações externas. Os painéis solares permitem que os sensores recarreguem suas baterias durante o dia, garantindo uma operação ininterrupta.

### 5.1.2 Conectividade em áreas remotas:

As aplicações de monitoramento ambiental geralmente ocorrem em áreas rurais ou florestais, onde a infraestrutura de comunicação é limitada ou inexistente. Isso representa um desafio significativo para a conectividade e a transmissão de dados em tempo real dos nós sensores para uma estação base ou centro de controle.

### **Soluções propostas:**

**Redes em malha:** O uso de topologias de rede em malha permite que os nós sensores atuem como repetidores, retransmitindo dados por vários saltos até chegarem à estação base. Isso melhora a cobertura e a confiabilidade da rede, especialmente em áreas de difícil acesso [39].

**Tecnologias de comunicação de longo alcance:** tecnologias como LoRaWAN e Sigfox foram desenvolvidas especificamente para transmitir dados a longas distâncias com consumo mínimo de energia. Essas tecnologias são ideais para aplicações em áreas remotas onde não há cobertura de celular ou Wi-Fi [40].

**Satélites de baixo custo:** em cenários extremos, o uso de satélites de baixo custo para transmissão de dados foi proposto como uma solução viável para garantir a conectividade em áreas sem infraestrutura terrestre [41].



### Impacto potencial:

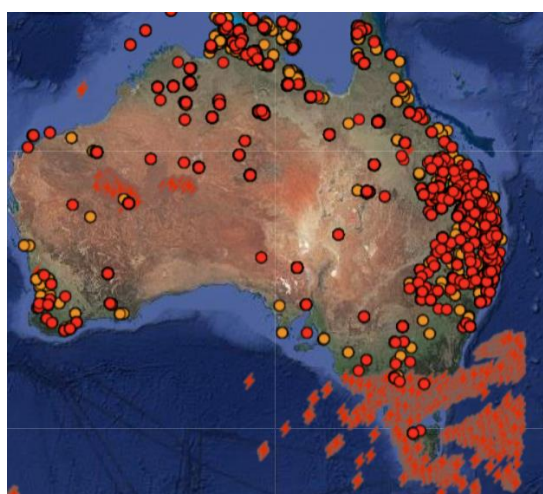
Com a integração de 5G, IA e sensores autoalimentados, as WSNs poderão fornecer monitoramento ambiental em tempo real com ampla cobertura geográfica. Isso permitirá que as autoridades e organizações não apenas reajam mais rapidamente às mudanças no meio ambiente, mas também prevejam eventos ambientais adversos com mais precisão.

## **6. ESTUDOS DE CASO**

A implantação de redes de sensores sem fio (WSNs) em projetos de monitoramento ambiental gerou vários estudos de caso que ilustram os benefícios e os desafios dessas tecnologias em ambientes reais. A seguir, apresentamos alguns exemplos notáveis da implantação de WSNs no monitoramento de incêndios florestais e da qualidade do ar, com uma análise dos resultados obtidos e dos benefícios derivados desses projetos.

### 6.1 Detecção de incêndios florestais: Projeto FireWatch na Austrália

O projeto FireWatch na Austrália é um dos exemplos mais emblemáticos da aplicação de WSNs para a detecção precoce de incêndios florestais. A Austrália, por ser um país propenso a incêndios devastadores, implementou um sistema de monitoramento avançado usando uma rede de sensores de temperatura, umidade e fumaça implantados em áreas florestais críticas.



Fonte: Myfirewatch, 2024

No projeto FireWatch, foram usados sensores de temperatura e fumaça conectados a uma rede de comunicação baseada em LoRaWAN. Esses sensores foram estrategicamente distribuídos em áreas com alto risco de incêndio, permitindo a cobertura de grandes áreas de terra com um número limitado de nós. A rede foi configurada em uma topologia de malha, o que garantiu a redundância na transmissão de dados e a resiliência contra falhas de nós individuais [12].

## **7. CONCLUSÕES**

A implementação de redes de sensores sem fio (WSNs) no monitoramento ambiental apresenta-se como uma ferramenta poderosa e versátil, capaz de fornecer dados precisos e em tempo real em uma ampla variedade de aplicações. Desde a detecção precoce de incêndios florestais até o monitoramento contínuo da qualidade do ar, as WSNs permitem avanços significativos na proteção ambiental e na saúde pública.

Ao longo deste documento, foi apresentado que as RSSFs, com a integração de sensores avançados e tecnologias de comunicação eficientes, são capazes de operar em ambientes desafiadores e de difícil acesso. Além disso, os principais desafios associados à implantação e à operação das RSSFs, incluindo a vida limitada da bateria e a conectividade em áreas remotas, foram identificados e abordados. As soluções propostas, que vão desde o uso de energia solar e tecnologias de longo alcance até a integração da inteligência artificial, demonstraram grande potencial para superar esses desafios e melhorar a eficiência geral das WSNs.

## **8. REFERÊNCIAS**

1. J. Yick, B. Mukherjee e D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2292-2330, 2008.
2. A. Kansal, J. Hsu, S. Zahedi e M. B. Srivastava, "Power management in energy harvesting sensor networks" (Gerenciamento de energia em redes de sensores de coleta de energia), *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.*, vol. 6, no. 4, pp. 32, 2007.
3. M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson e R. Han, "X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks", em *Proc. 4th Int. Conf. Embedded Networked Sensor Syst.*, 2006, pp. 307-320.

4. E. Elsys, "ERS Environmental Sensor", Elsys, [Online]. Disponível: <https://www.elsys.se/en/ers/>. [Acessado em: 31-Aug-2024].
5. Dragino, "LSN50v2-D20 LoRaWAN Sensor", Dragino, [Online]. Disponível: <https://www.dragino.com/products/temperature-humidity-sensor/item/168-lsn50v2-d20.html>. [Acessado em: 31-Aug-2024].
6. Libelium, "Waspote Plug & Sense! Smart Environment PRO", Libelium, [Online]. Disponível: <https://www.libelium.com/iot-products/plug-sense>. [Acessado em: 31-Aug-2024].
- 7 "What are LoRa and LoRaWAN? The Things Network," The Things Network. [Online]. Disponível: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>. [Acessado em: 02-Sep-2024].
- Guide to LoRaWAN: What it is, how it works and what it is for - LovTechnology," LovTechnology. [Online]. Disponível: <https://lovtechnology.com/guia-de-lorawan-que-es-como-funciona-y-para-que-sirve/>. [Acessado em: 02-Sep-2024].
- 9 "Home - Sigfox 0G Technology", Sigfox. [Online]. Disponível: <https://www.sigfox.com/>. [Acessado em: 02-Sep-2024].
10. "What is SIGFOX? SIGFOX technology in M2M and IoT - RF Wireless World," RF Wireless World. [Online]. Disponível: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/SIGFOX-technology-basics.html>. [Acessado em: 02-Sep-2024].
11. "O que é a tecnologia Sigfox 0G? Sigfox build," Sigfox Build. [Online]. Disponível: <https://build.sigfox.com/sigfox>. [Acessado em: 02-Sep-2024].
- 12 "MyFireWatch - FireWatch Australia", Landgate. [Online]. Disponível: <https://myfirewatch.landgate.wa.gov.au/map.html>. [Acessado em: 02-Sep-2024].