

# Uma proposta de arquitetura para análise de desempenho de redes sem fio LoRa e ZigBee aplicada a um sistema de monitoramento ambiental de data center

Rodrigo A. Krauel<sup>1</sup>, Charles C. Miers<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciência da Computação (DCC)  
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

rodrigo.krauel@edu.udesc.br,

charles.miers@udesc.br

**Resumo.** *Soluções Internet das Coisas Industrial (IIoT) podem fazer uso de diversos dispositivos e tecnologias, além de poderem ser utilizadas em cenários distintos, com isso faz-se necessária a análise do desempenho dessas aplicações com diferentes componentes nos mais variados cenários. Um dos principais componentes que impacta significativamente no desempenho de uma solução desse tipo é o protocolo de rede utilizado, cada um tendo características que melhor se encaixam em determinado cenário. Este artigo apresenta uma análise de desempenho dos protocolos de redes sem fio ZigBee e LoRa quando aplicados dentro de um sistema de monitoramento ambiental voltado a data centers (DCs).*

## 1. Introdução

A demanda por *data center* (DC) vem crescendo de forma contínua a mais de uma década devido à utilização cada vez maior de serviços em nuvem, demanda por poder computacional e armazenamento de significativos volumes de dados. Porém, organizações de pequeno e médio porte que fornecem esse tipo de serviço ou utilizam de DC próprio acabam não revelando preocupação em monitorar esses ambientes, o que pode gerar danos aos equipamentos e gastos desnecessários com energia [Camargo et al. 2016]. O monitoramento ambiental de DCs, pode ser empregado com equipamentos de baixo custo, e apresentar um ganho significativo em eficiência. Uma das possíveis abordagens para resolver esse problema é a utilização de recursos de IoT/Internet das Coisas Industrial (IIoT) para realizar o monitoramento dos ambientes de DCs. Além de serem fáceis de serem acoplados à infraestrutura já existente, sensores e atuadores podem ser encontrados de forma acessível, mitigando desperdícios por parte das empresas em relação ao consumo de energia e garantindo o bom funcionamento de seus equipamentos [Camargo et al. 2016].

O objetivo desse trabalho é propor uma arquitetura para a análise de desempenho dos protocolos ZigBee e LoRa aplicados em uma solução de monitoramento ambiental de DCs. O artigo está organizado como segue. A Seção 2 traz a fundamentação. A proposta do sistema de monitoramento ambiental para a coleta de dados e análise de eficiência energética, assim como os parâmetros a serem utilizados são apresentados na Seção 3.

## 2. Fundamentação

A IIoT surgiu como a aplicação da Internet das Coisas (IoT) para aplicações industriais, esse conceito traz o uso de sensores e atuadores inteligentes para diversos tipos de

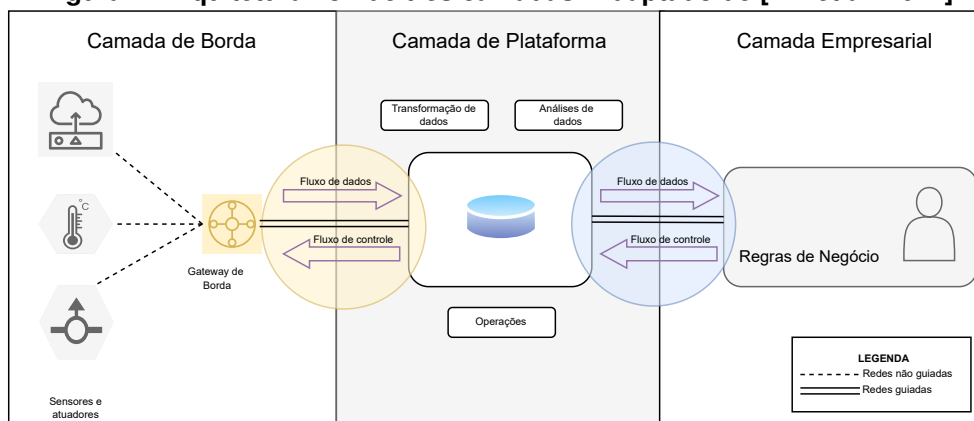
aplicações como monitoramento ambiental até rastreamento de produtos. Para isso, são utilizados aparelhos que podem realizar desde a medição de parâmetros ambientais como temperatura, pressão e umidade, até controladores voltados para automação industrial. Por se tratar de dispositivos utilizados em ambientes industriais, diferente de sua contraparte mais genérica, é necessário que componentes de uma aplicação IIoT possuam características e requisitos operacionais específicos, como pode-se observar na Tabela 1.

**Tabela 1. Principais requisitos de desempenho em serviços de IIoT / automação industrial. Adaptado de [Brown et al. 2018].**

Caso de Uso (alto nível)		Disponibilidade	Ciclos de tempo	Tamanho típico do payload	Número de dispositivos	Área típica de serviço
Controle de movimento	Impressora industrial	>99,9999%	<2ms	20 bytes	>100	100mx100mx30m
	Máquina-ferramenta	>99,9999%	<0,5ms	50 bytes	~20	15mx15mx3m
	Máquina de embalagem	>99,9999%	<1ms	40 bytes	~50	10mx5mx3m
Robôs móveis	Controle de movimento cooperativo	>99,9999%	1ms	40-250 bytes	100	<1 km <sup>2</sup>
	Controle remoto operado por vídeo	>99,9999%	10-100ms	15-150 bytes	100	<1 km <sup>2</sup>
Painéis de controles móveis e com funções de segurança	Robôs de montagem ou fresadoras	>99,9999%	4-8ms	40-250 bytes	4	10m x 10m
	Guindastes móveis	>99,9999%	12ms	40-250 bytes	2	4m x 60m
Automação / Monitoramento de processos		>99,99%	>50ms	vários	10.000 dispositivos por km <sup>2</sup>	

Devido à diversa variedade de dispositivos e protocolos que podem ser integrados à uma aplicação IIoT, torna-se necessário o teste de suas combinações para os mais diversos cenários de uso, garantindo a adequação aos requisitos estipulados e trazendo o melhor desempenho possível com base nos mesmos. Tratando-se de soluções IIoT normalmente são utilizadas redes de baixo consumo energético, sendo estas de baixo ou longo alcance dependendo das necessidades da aplicação em questão. Redes de curto alcance trabalham na faixa de frequência da rede IEEE 802.11, enquanto que as de longo alcance utilizam faixas SubGhz por sua capacidade de transmitir sinais através de obstáculos, exemplos do primeiro tipo são BLE e ZigBee e do segundo as redes LoRaWan, SigFox e NB-IoT. Para a proposta apresentada será utilizada uma rede de cada tipo, sendo estas a rede ZigBee, desenvolvida pela *ZigBee Alliance*, e a rede LoRaWan, desenvolvida pela *LoRa Alliance* [Ramya et al. 2011, Carvalho and Miers 2021]. Além disso, há também uma arquitetura referencial proposta para a implementação desses sistemas (Figura 1).

**Figura 1. Arquitetura IIoT de três camadas. Adaptado de [Lin et al. 2017]**



Na Figura 1 pode-se observar uma arquitetura IIoT separada em três camadas [Lin et al. 2017, Silva 2022]: (i) Camada de Borda: Composta pelos sensores e atuadores, além de outros dispositivos físicos; (ii) Camada de Plataforma: Meio de comunicação entre as outras duas camadas; e (iii) Camada Empresarial: Responsável por receber os dados das outras camadas, assim como emitir dados de controle às mesmas.

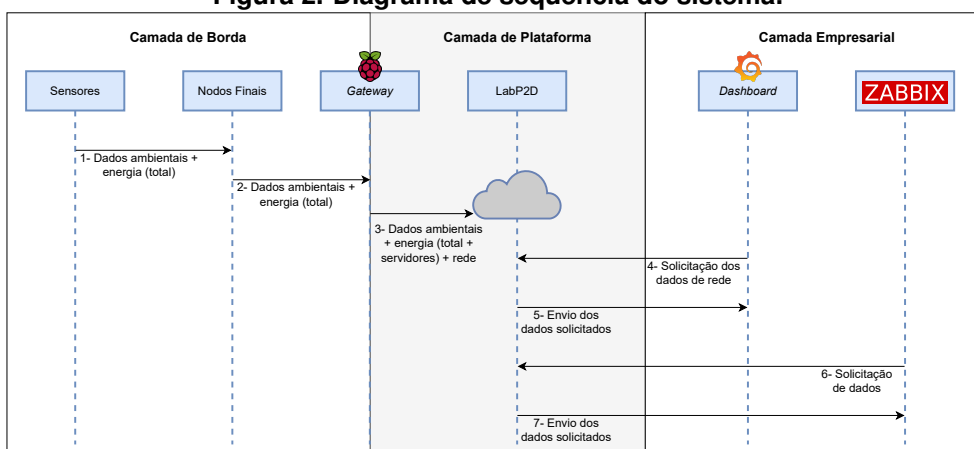
### 3. Proposta

A proposta desse artigo é realizar uma análise de desempenho dos protocolos de rede ZigBee e LoRa/LoRaWan empregados em uma solução voltada ao monitoramento ambiental de um DC. Os aspectos a serem analisados serão: (i) quantidade bruta de dados transmitidos, (ii) latência na coleta, (iii) consumo de processador, memória e rede no *gateway*. Esses elementos serão obtidos através do uso de sensores que captam parâmetros ambientais do local e consumo energético do laboratório no qual se encontra o DC, sendo analisados posteriormente em um serviço desenvolvido e disponibilizado em uma Máquina Virtual (MV) na nuvem.

O cenário da solução proposta será constituído por um nodo coordenador conectado a um Raspberry Pi 4, seis nodos finais, cinco com um sensor de temperatura e umidade, e um sensor de pressão atmosférica, e um nodo com três sensores de corrente não invasivo. O Raspberry Pi 4 será responsável por se comunicar com a MV na nuvem e transferir dados, atuando como *gateway* de borda. Os sensores utilizados serão do mesmo tipo dos utilizados em [Camargo et al. 2016] por disponibilidade dos mesmos no laboratório e possuírem um baixo custo.

A *Proof of Concept* (PoC) será realizada usando como base um sistema de monitoramento já disponível no qual serão realizados dois experimentos com os sensores comunicando-se em: (i) ZigBee e (ii) LoRa/LoRaWan. Durante os testes os nodos serão configurados para envio dos dados coletados a cada 5 segundos, gerando um *payload* de aproximadamente 9 bytes em cada nodo. Para a estruturação da solução será utilizado o modelo ISA-95 como na solução apresentada em [Carvalho and Miers 2023].

Figura 2. Diagrama de sequência do sistema.



Na Figura 2 é possível acompanhar o fluxo de dados normal do sistema, primeiro é feita a coleta dos dados ambientais e energia total por parte dos sensores, os quais são enviados aos nodos diretamente conectados a esses sensores, esses então transmitem os

dados ao *gateway* (Raspberry Pi 4) através da rede sem fio, o qual envia esses dados ao *Dashboard* Grafana e Zabbix quando solicitado.

#### 4. Considerações

Entender o desempenho de diferentes tecnologias computacionais é fundamental para identificar quais se encaixam melhor em cada tipo de cenário. Logo, realizar testes com tecnologias com aplicações semelhantes, mas características distintas (como os protocolos ZigBee e LoRa) é relevante para a identificação do protocolo que mais se adéqua ao monitoramento de DCs, afinal empresas preferem não ter que lidar com dois tipos de protocolos diferentes. Sendo assim, determinar os componentes ideais para esse cenário pode promover a adesão de pequenas e médias empresas à prática de monitoramento ambiental de seus DCs, trazendo um ganho significativo em relação à eficiência e lucratividade. Além disso a escolha de recursos de baixo custo é um ponto chave para que a adoção desse tipo de solução se torne atrativa ao mercado. Os trabalhos futuros envolvem a implementação da solução proposta com SigFox, assim como trabalhos voltados para o estudo das redes utilizadas, com o intuito de realizar uma análise comparativa das mesmas nesse tipo de aplicação.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem o apoio do LabP2D/UDESC e a FAPESC.

#### Referências

- Brown, G., Analyst, P., and Reading, H. (2018). Ultra-reliable low-latency 5g for industrial automation. *Technol. Rep. Qualcomm*, 2:52065394.
- Camargo, D. S., Miers, C. C., Koslovski, G. P., and Pillon, M. A. (2016). Greenhop: Open source environmental monitoring for small and medium data centers. In *35th International Conference of the Chilean Computer Science Society*, pages 1–12.
- Carvalho, D. F. d. and Miers, C. C. (2021). Uma proposta de estudo comparativo de nb-iiot vs lorawan para aplicação em redes iiot privadas para automação e monitoramento de processos. In *Anais da XIX Escola Regional de Redes de Computadores*, pages 19–24.
- Carvalho, D. F. d. and Miers, C. C. (2023). Process automation and monitoring systems based on iiot using private lorawan networks: A case study of arcelormittal vega facilities. In *IoT BDS*, pages 243–254.
- Lin, S., Miller, B., Durand, J., Bleakley, G., Chigani, A., Martin, R., Murphy, B., and Crawford, M. (2017). The industrial internet of things reference architecture. *The Industrial Internet Consortium (IIC)*.
- Ramya, C. M., Shanmugaraj, M., and Prabakaran, R. (2011). Study on zigbee technology. In *2011 3rd international conference on electronics computer technology*, volume 6, pages 297–301. IEEE.
- Silva, S. H. (2022). Análise do ciclo de vida de credenciais em redes lorawan privadas para iiot. Dissertação de mestrado, Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC.