

# Sistema de Monitoramento de Consumo Energético de Data Centers

## Data Center Energy Consumption Monitoring System

Kayã Morgado de Lima e Luiz Guilherme Soares Luciano

### RESUMO

O aumento do consumo energético de data centers torna necessária a adoção de sistemas de monitoramento que permitam medir, analisar e otimizar o uso de energia em tempo real. Este trabalho apresenta o projeto e a implementação de um Sistema de Monitoramento de Consumo Energético de Data Centers, composto por uma camada de sensores (corrente, tensão, temperatura, umidade e fluxo de ar), uma arquitetura de aquisição e transmissão de dados (edge + MQTT), e um painel analítico que aplica algoritmos de detecção de anomalias e recomendações de eficiência (balanceamento de carga, controle de resfriamento e escalonamento de máquinas virtuais). O sistema visa reduzir desperdícios energéticos, aumentar a confiabilidade operacional e fornecer indicadores (PUE, CUE e consumo por rack) para suporte à tomada de decisão. Resultados esperados incluem redução percentual no consumo por rack, identificação de hotspots térmicos e relatórios para otimização sustentável.

**Palavras-chave:** monitoramento energético, data centers, Internet das Coisas, eficiência energética, PUE

---

<sup>1</sup>Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Escola e Faculdade SENAI de Tecnologia Felix Guissard. E-mail: [kayanicolas2112@gmail.com](mailto:kayanicolas2112@gmail.com)

<sup>2</sup>Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Escola e Faculdade SENAI de Tecnologia Felix Guissard. E-mail: [luiz.g.luciano@aluno.senai.br](mailto:luiz.g.luciano@aluno.senai.br)

### ABSTRACT

The growing energy consumption of data centers demands monitoring systems capable of measuring, analyzing and optimizing energy use in real time. This paper presents the design and implementation of a Data Center Energy Consumption Monitoring System, composed of a sensor layer (current, voltage, temperature, humidity and airflow), a data acquisition and transmission architecture (edge + MQTT), and an analytics dashboard employing anomaly detection and efficiency recommendation algorithms (load balancing, cooling control and VM scheduling). The system aims to reduce energy waste, increase

operational reliability and provide KPIs (PUE, CUE and consumption per rack) to support decision making. Expected outcomes include percentage reduction in per-rack consumption, detection of thermal hotspots and reports for sustainable optimization.

**Keywords:** energy monitoring, data centers, Internet of Things, energy efficiency, PUE

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Problema de pesquisa

Data centers consomem grande quantidade de energia e sering apresentam ineficiências devido a resfriamento inadequado, distribuição de carga desbalanceada e falta de visibilidade em tempo real do consumo por elemento (rack, servidor, UPS). Como projetar um sistema de baixo custo e escalável que integre sensores físicos e ferramentas analíticas para medir consumo energético granular e sugerir otimizações sustentáveis?

### 1.2 Objetivo(s)

- Desenvolver e validar um sistema protótipo que colete dados energéticos e ambientais em nível de rack e ambiente.
- Implementar pipelines de transmissão (edge → broker MQTT → base de dados temporal) e visualização (dashboard).
- Aplicar algoritmos para cálculo de PUE, detecção de anomalias e recomendações automáticas de eficiência (ajuste de refrigeração, redistribuição de carga).
- Avaliar impactos do sistema em métricas de eficiência energética em um ambiente controlado (simulação ou laboratório).

### 1.3 Justificativa

Com a expansão do uso de serviços digitais, o consumo de energia dos data centers é um desafio ambiental e econômico. Soluções que aumentem a visibilidade e proponham otimizações permitem reduzir custos operacionais e emissões associadas. Pequenas e médias instalações, muitas vezes, não têm ferramentas sofisticadas; um sistema modular e de baixo custo facilita a adoção de práticas sustentáveis.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

**Breve síntese teórica que servirá de base ao projeto: conceitos de PUE (Power Usage Effectiveness) e CUE (Carbon Usage Effectiveness); estudos sobre monitoramento distribuído via IoT em infraestruturas críticas; técnicas de análise de séries temporais para detecção de anomalias (ARIMA, LSTM, métodos estatísticos), e soluções comerciais de gerenciamento de infraestrutura (DCIM) versus abordagens open-source. A revisão enfatiza trabalhos que integraram sensores ambientais com medições elétricas para correlacionar comportamento térmico e consumo energético, além de práticas de automação de resfriamento e gerenciamento de carga.**

### 3 METODOLOGIA

#### Arquitetura proposta

- **Camada sensores (edge):** medidores de energia por PDU/rack (clamp meters ou smart PDUs), sensores de temperatura e umidade, sensores de fluxo de ar. Microcontroladores/edge devices (Raspberry Pi/ESP32) agrupam leituras.
- **Comunicação:** MQTT sobre rede local com TLS para segurança; mensagens com timestamp e identificação de sensor.
- **Armazenamento:** base de dados temporal (InfluxDB ou TimescaleDB) para séries temporais; objetos e metadados em banco relacional leve.
- **Processamento e análise:** pipelines em Python (Pandas + scikit-learn) ou Node.js; cálculo de KPIs (PUE, consumo por rack), detecção de anomalias (z-score, Isolation Forest ou LSTM para séries temporais) e geração de recomendações.
- **Visualização:** dashboard web (Grafana ou aplicação React) com gráficos em tempo real, mapas térmicos por rack e alertas.
- **Mecanismos de atuação (opcional):** integração com sistemas de gestão de refrigeração (APIs) ou scripts para sugerir migração de workloads (via orquestrador de VMs/containers).

#### Fases do desenvolvimento

- Levantamento de requisitos e mapeamento do ambiente de testagem (laboratório/sala de servidores).
- Seleção e aquisição de sensores e PDUs; montagem de protótipo de coleta.
- Implementação do broker MQTT, armazenamento e visualização.
- Desenvolvimento dos algoritmos de análise e recomendações.
- Testes em bancada e estudo de caso com cargas simuladas; coleta de métricas antes/depois.
- Avaliação dos resultados e refinamento.

#### Indicadores de avaliação

- **Precisão das leituras comparada a instrumento padrão.**
- **Redução percentual do consumo por rack após recomendações (meta:  $\geq 5-10\%$  dependendo do cenário).**
- **Taxa de detecção de anomalias (recall/precision) em testes com falhas simuladas.**
- **Latência da pipeline (tempo entre leitura e visualização/alerta).**

#### **Recursos e tecnologias recomendadas**

- **Hardware: smart PDUs, sensores DHT22/BME280, sensores de corrente (CT clamps), Raspberry Pi / ESP32.**
- **Software: MQTT (Eclipse Mosquitto), InfluxDB/TimescaleDB, Grafana/React, Python (pandas, scikit-learn, tensorflow opcional).**
- **Segurança: TLS/SSL, autenticação MQTT, segregação de rede.**

#### **Riscos e mitigação**

- **Segurança da rede e exposição de dados → uso de TLS, VLANs e políticas de acesso.**
- **Precisão dos sensores baratos → calibração com instrumentos de referência.**
- **Intervenção automática crítica (p.ex. desligamento) → manter apenas recomendações automáticas; ações manuais supervisionadas.**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Espera-se demonstrar que a integração de sensores e análises permite identificar hotspots térmicos e servidores consumidores de energia, resultando em recomendações que podem reduzir consumo (por exemplo, ajustes de setpoint de ar-condicionado, redistribuição de carga). Em um estudo de caso controlado, o protótipo deverá apresentar: visualização em tempo real do consumo por rack, alarmes para desvios acima de thresholds, e um relatório de melhoria com estimativa de redução de consumo e retorno sobre investimento (ROI). Discussões incluirão trade-offs entre custo do sistema e economia energética, impacto ambiental e barreiras para adoção em pequenas instalações.

## 5 CONCLUSÃO

O projeto propõe uma solução prática e escalável para aumentar a eficiência energética de data centers por meio de monitoramento granular e análise de dados. Além de possibilitar redução de custos e emissões, o sistema fornece informações acionáveis que podem servir como base para políticas de sustentabilidade em operações de TI. Trabalhos futuros incluem integração com orquestradores para automação segura e extensão para métricas de carbono (CUE).

## 6 REFERÊNCIAS

1. ASHRAE. *Thermal Guidelines for Data Processing Environments*. 4th ed. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021. Disponível em: <https://www.ashrae.org>. Acesso em: 11 ago. 2025.
2. GREEN GRID. *PUE: A Comprehensive Examination of the Metric*. The Green Grid, 2012. Disponível em: <https://www.thegreengrid.org>. Acesso em: 11 ago. 2025.
3. ZHANG, Y.; WANG, C.; WANG, X. *Energy-efficient Data Center Networking: A Survey*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 18, n. 1, p. 732–752, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2464084>. Acesso em: 11 ago. 2025.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador e ao laboratório da Faculdade SENAI Félix Guisard pelo apoio e infraestrutura.

## **SOBRE O(S)AUTOR(ES)**

**Kayã Morgado de Lima**



Possui graduação (em curso) no Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento pela Faculdade Senai Félix Guisard. Tem experiência em estágio remunerado na Instituição SESI São Paulo e atuação com suporte remoto e projetos em TI.

**Luiz Guilherme Soares Luciano**



Possui graduação (em curso) no Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento pela Faculdade Senai Félix Guisard. Tem experiência em estágio remunerado na Instituição SESI São Paulo e atuação com suporte remoto e projetos em TI.