

Data Center Monitoring using a IEEE 802.15.4/SUN Network in a Smart Campus Scenario

Zenildo César¹, Ruan Delgado Gomes¹ e Anderson F. B. F da Costa¹

¹ PPGTI, Instituto Federal da Paraíba (IFPB), João Pessoa/PB, Brasil

zenildo.cezard@academico.ifpb.edu.br; {ruan.gomes, anderson}@ifpb.edu.br

Abstract. Among the main challenges for monitoring Data Centers, one can list the large number of parameters that can influence their correct functioning (e.g. temperature, humidity, energy sources, among others). In this way, monitoring Data Centers is of paramount importance to avoid losses, both in terms of data (information) and financial aspects. This paper presents a monitoring system for Data Centers (DCMonitor), using the concepts of Smart Campus, Internet of Things (IoT) and Wireless Sensor Networks (WSNs). The system was deployed in the Data Center of an university, and an experiment was carried out for 15 days, in order to evaluate the communication performance using three different modulations defined by the IEEE 802.15.4g standard: SUN-FSK, SUN-OQPSK and SUN-OFDM. As can be seen in the obtained results, it was identified that the modulation that best fits the presented scenario is the SUN-OQPSK.

Resumo. Dentre os principais desafios para o monitoramento de Data Centers, pode-se elencar o grande número de parâmetros que podem influenciar no seu correto funcionamento (ex: temperatura, umidade, fontes de energia, entre outros). Dessa forma, o monitoramento dos Data Centers é de suma importância para evitar perdas, tanto no aspecto de dados (informações) quanto no aspecto financeiro. Este trabalho apresenta um sistema de monitoramento para Data Centers (DCMonitor), utilizando os conceitos de Smart Campus, Internet das Coisas (IoT) e Redes de Sensores Sem Fio (WSNs). O sistema foi implantado no Data Center de uma universidade, e foi realizado um experimento durante 15 dias, a fim de avaliar o desempenho da comunicação utilizando três diferentes modulações definidas pelo padrão IEEE 802.15.4g: SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM. Como pode ser observado nos resultados obtidos, identificou-se que a modulação que melhor se adequa ao cenário apresentado é a SUN-OQPSK.

1. Introdução

Para o correto funcionamento de *Data Centers*, é necessário, dentre outros fatores, uma climatização adequada do ambiente [Teixeira et al. 2020] [Tanenbaum 2016]. Dentre os principais desafios, pode-se enumerar a grande quantidade de parâmetros que podem influenciar no correto funcionamento destes, como temperatura, umidade, fontes de energia, entre outros. Entre estes parâmetros, podem-se destacar a temperatura e a umidade relativa do ar. Quando a umidade está alta, as chances de uma oxidação no cabeamento, nos conectores e até nos circuitos dos servidores são muito altas. Outro problema recorrente, causados principalmente pela alta variação de temperatura e umidade neste ambiente,

são os curtos-circuitos. Se medidas não forem tomadas, um curto-circuito pode desde danificar um equipamento, até causar incêndios nos servidores, que podem se espalhar rapidamente por todo *Data Center*. Desta forma, monitorar os *Data Centers* é de suma importância para evitar prejuízos, tanto de dados, quanto financeiros. Sem o monitoramento da temperatura e da umidade, estes parâmetros podem variar muito e por diversos motivos, torna-se difícil realizar um controle adequado e garantir o funcionamento dos equipamentos e serviços.

A preocupação com os ambientes de *Data Center* também faz parte do cotidiano da maioria das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES). Nestas instituições, a perda de dados pode representar muitos anos de pesquisas perdidos, histórico acadêmico de milhares ou milhões de alunos e ex-alunos perdidos, além de muitas outras informações de suma importância para o correto funcionamento destas instituições. Como exemplo, a Universidade Federal da Paraíba (UFPB) conta atualmente com um *Data Center* de aproximadamente 28 m², mas já com previsão de ampliação em um futuro próximo, e é responsável por hospedar todos os principais equipamentos de TI da instituição. Este *Data Center* atualmente é monitorado de forma precária com o uso apenas dos sensores de temperatura internos de alguns equipamentos, como servidores e *switches*, mas que, além de não serem muito precisos, são suscetíveis a falhas e ainda de muito difícil realocação. Esta forma de monitoramento já provocou vários problemas para a equipe responsável, principalmente com relação ao tempo de identificação de falhas no sistema de refrigeração do ambiente.

Este artigo descreve uma solução para melhorar o monitoramento de ambientes de *Data Centers*, usando sistemas baseados em Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), visando evitar problemas que venham a danificar equipamentos ou interromper os serviços. Mais especificamente, uso de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) para implementação de sistemas de IoT para o monitoramento e controle em ambientes de *Data Centers* apresenta algumas vantagens quando comparado com o uso de sensores com fios. Por exemplo, o baixo custo de implantação, baixo consumo de energia (podendo usar baterias) e alta flexibilidade, permitindo instalação em locais de difícil acesso (como portas, saídas de condicionadores de ar etc), onde seria difícil ou inviável a utilização de cabos. O uso de RSSF permite também uma fácil reorganização nos locais de instalação dos equipamentos, caso necessário [Marfievici et al. 2017]. Nesse contexto, o artigo oferece duas principais contribuições: a descrição da implementação e avaliação de um sistema para monitoramento de *Data Centers* em um ambiente real e a avaliação do desempenho da RSSF implantada considerando diferentes tipos de modulações disponíveis no padrão IEEE 802.15.4, para verificar a adequação dessas tecnologias de comunicação no ambiente estudado.

2. Fundamentação Teórica e Trabalhos Relacionados

2.1. IoT e Campus Inteligente

A IoT é um termo usado para descrever uma ampla variedade de objetos capazes de se conectar à Internet, que cooperam e interagem entre si para atingir um objetivo comum [Atzori et al. 2010]. Isso só foi possível devido aos avanços tecnológicos, expansão do acesso à internet e aumento no uso de dispositivos móveis [Castro et al. 2019]. Um dos nichos de aplicação de IoT são as Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), em que as redes e

serviços tradicionais são mais eficientes com o uso de soluções tecnológicas em benefício de seus habitantes e negócios [EC 2022]. Recentemente, as pesquisas realizadas em Cidades Inteligentes focam na aplicação de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) consideradas de nova geração (Redes de Sensores, Internet das Coisas, Computação em Nuvem e *Big data*), para solucionar os problemas urbanos [Neves et al. 2017].

O modelo de uma Cidade Inteligente pode ser adaptado para as universidades, surgindo o conceito de Campus Inteligente (*Smart Campus*) [Neves et al. 2017], já que essas instituições se comparam com as cidades em vários aspectos, principalmente em relação à gestão, infraestrutura e serviços disponíveis aos usuários. Desta forma, as universidades passam a ser utilizadas como ambiente de experimentação no desenvolvimento de novas soluções para cidades inteligentes. Este processo de construção de um campus inteligente passa por um modelo multidisciplinar e se faz necessária a definição de uma estratégia integrada e estruturada, para articular entre os diversos setores e atores.

2.2. Redes de Sensores sem Fio (RSSF)

Uma alternativa de baixo custo aos sistemas de monitoramento baseados em redes cabeadas, para implementação de sistemas de IoT, é a utilização de redes sem fio. As RSSF apresentam como principais vantagens: flexibilidade maior que as redes cabeadas, baixo custo, fácil instalação e manutenção [Gomes et al. 2014]. Uma RSSF pode ser descrita como uma rede de dispositivos, chamados de nós, espacialmente distribuídos que, em cooperação, realizam tarefas de sensoriamento e controle de certo ambiente, se comunicando através de enlaces sem fio, permitindo a interação entre pessoas/computadores e o ambiente em análise.

2.2.1. Padrão IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 define as especificações das camadas física (PHY - *Physical Layer*) e camada de controle de acesso ao meio (MAC - *Media Access Control*) para as redes de comunicação sem fios que operam com baixa taxa de transmissão de dados, mais conhecidas pela sigla em inglês LR-WPAN - *Lower Rate Wireless Personal Area Network*. Devido a essas características, esse padrão é muito utilizado para a implementação de RSSF. As redes IEEE 802.15.4 podem operar em 3 frequências definidas sobre as bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que são: 868 MHz (Europa), 915 MHz (Estados Unidos/Américas) e 2,4 GHz (todo o mundo) [Saraiva et al. 2020]. Nas suas versões iniciais, o padrão empregava a modulação DSSS-OQPSK (*Direct Sequence Spread Spectrum-Offset Quadrature Phase Shift Keying*), com taxas de bits de dados de 20 kbps e 40 kbps nas bandas sub-GHz (868/915 MHz), e de 250 kbps na banda de 2,4 GHz [Tuset-Peiró et al. 2020].

O IEEE 802.15.4g é uma emenda do padrão IEEE 802.15.4 (posteriormente consolidada nas versões 2015 e 2020 do padrão). A partir dessa emenda, características significativas foram implementadas no padrão, consideradas como um grande avanço em relação à especificação original, introduzindo possibilidades de maiores taxas de bits e maiores distâncias de comunicações, com o tamanho de pacotes saltando de 127 bytes para 2047 bytes, permitindo assim o completo carregamento do pacote IP em um quadro, tornando o protocolo mais apropriado para aplicações

IoT [Kohler et al. 2020] [Saraiva et al. 2020]. A emenda incluiu também três novas definições de camada física direcionadas a aplicações SUN (*Smart Utility Network*). As modulações SUN-FSK e SUN-OQPSK se concentram em manter a compatibilidade com os padrões anteriores e transceptores disponíveis comercialmente, enquanto o SUN-OFDM se concentra em adicionar robustez e melhorar a eficiência do espectro na camada física [Tuset-Peiró et al. 2020].

A modulação SUN-FSK apresenta uma boa eficiência energética, baixa complexidade de implementação e compatibilidade com sistemas legados. A modulação OQPSK foi introduzida já na primeira versão do padrão IEEE 802.15.4, em 2003. Usava apenas a banda de 2,4 GHz, com uma taxa de bits de 250 kbps. Já o IEEE 802.15.4g permitiu o uso desta modulação para outras faixas de frequência, e taxa de bits variando de 6,25 a 500 kbps. A SUN-OQPSK emprega DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), que permite uma melhor resistência às interferências. A SUN-OFDM permite fornecer altas taxas de dados e um longo alcance, enquanto lida com desvanecimento de múltiplos caminhos e problemas de interferência externa. Pode ser usada em diferentes bandas de frequência e fornece taxas de dados de 50 kbps a 800 kbps [Tuset-Peiró et al. 2020].

2.3. Trabalhos relacionados

Por envolver muitas variáveis, o processo de monitoramento de *Data Centers* é considerado complexo. A Tabela 1 lista um conjunto de trabalhos que tentaram lidar com essa complexidade e propuseram sistemas de monitoramento para *Data Centers*. O sistema descrito no presente artigo também se encontra na tabela (DCMonitor).

Tabela 1. Trabalhos relacionados.

Art.	Parâmetros monitorados	Área (M ²)	Quant. de nós	Tecnologia de comunicação
[Marfievici et al. 2017]	temperatura umidade velocidade do ar níveis das baterias	34	30	IEEE 802.15.4
[Polonelli et al. 2018]	temperatura umidade nível da bateria	-	20	IEEE 802.15.4
[Mehta et al. 2018]	temperatura	2200	108	IEEE 802.15.4
[Medina-Santiago et al. 2019]	temperatura umidade	20	1	IEEE 802.3
DCMonitor	temperatura umidade	28	4	IEEE 802.15.4g

Em Marfievici et al. [Marfievici et al. 2017], foi realizado o monitoramento de temperatura e umidade em um *Data Center* com área útil de aproximadamente 34 m². Foi usado o nó do Modelo TelosB e tecnologia de comunicação IEEE 802.15.4 com CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) na camada MAC. Os nós foram configurados para transmitir com potência de 0 dBm e usar o canal 26 para evitar interferências entre tecnologias. Devido ao reduzido tamanho da sala, foi utilizada topologia em estrela. Mesmo com distâncias reduzidas, os problemas de comunicação foram constantes, em parte pelo ambiente formado por superfícies metálicas, com flutuação de temperatura. Dos 17 meses do experimento, 9 foram para a correção dos problemas de comunicação e de *hardware*, como perda de pacotes, esgotamento das baterias e interrupção do *gateway*. Nos últimos 8 meses, entretanto, o experimento apresentou taxa de entrega de pacote média de 99,20%.

Em Polonelli et al. [Polonelli et al. 2018] foram monitoradas a temperatura e a umidade, além de informações dos nós, como a tensão das baterias. Neste experimento, optou-se por usar 20 nós modelo STM32L4 da ST Microelectronics e tecnologia de comunicação IEEE 802.15.4. Também adotou-se a topologia em estrela. Já em Mehta, Mittra e Yadav [Mehta et al. 2018], o único parâmetro monitorado foi a temperatura, para registrar as mudanças e distribuição de temperatura por todo o *Data Center*. Com área de 2200 m² e usando 108 nós, este foi o maior projeto identificado em nosso levantamento, também usando o IEEE 802.15.4. Por causa do tamanho do ambiente monitorado, foi usada uma topologia em malha (múltiplos saltos). Mesmo monitorando um único parâmetro, foi possível a redução do consumo de energia do *Data Center* de 3.600 MWh para 1.500 MWh.

Por ter sido implantado no menor *Data Center* entre todos os trabalhos apresentados, o sistema descrito em [Medina-Santiago et al. 2019] foi o único que não usou uma RSSF, optando por usar um único nó Arduino conectado na rede Ethernet (IEEE 802.3). Embora o autor fale que este projeto é de fácil expansão, não é isso que identificamos quando imaginamos esta solução em um *Data Center* muito maior, com 1000 ou 2000 m².

Em Tuset-Peiró et al. [Tuset-Peiró et al. 2020], é apresentado um conjunto de dados obtidos da implantação de uma rede IEEE 802.15.4g SUN de salto único com 11 nós e um *gateway*. Os nós foram distribuídos em um ambiente industrial e foram avaliadas as modulações SUN-FSK, SUN-OQKS e SUN-OFDM, na banda sub-GHz. Embora não faça parte do escopo principal do nosso trabalho, com um ambiente completamente diferente, este artigo serviu como base para definição dos protocolos de rede e topologia da rede implantada para o presente artigo.

3. Descrição do Sistema DCMonitor

O **DCMonitor** é um sistema de monitoramento da temperatura e umidade para *Data Centers*. Estes dois parâmetros foram escolhidos devido à sua importância para o correto funcionamento de um *Data Center*. Falhas no monitoramento destes dois parâmetros podem gerar perdas irreparáveis de equipamentos e até de dados para as instituições. Para isso, consideramos todas as principais vantagens que a IoT e as RSSF têm a oferecer, como flexibilidade maior que as redes cabeadas, baixo custo, facilidade de instalação e manutenção. Um sistema de monitoramento deste tipo, além de servir para evitar incidentes com os dados e equipamentos, pode ser usado também na redução dos custos de operação, ajudando, por exemplo, a fazer um uso mais consciente da energia elétrica, como em [Mehta et al. 2018].

Para atender às necessidades deste projeto, adotou-se dispositivos do tipo *OpenMote B* [Tuset et al. 2016] e uma placa de suporte equipada com os sensores Bosch BME280 e Texas Instruments OPT3001. O sensor Bosch BME280 é responsável por medir a umidade, temperatura e pressão, já o sensor OPT3001 é um sensor de luminosidade, mas não foi usado nos testes. Essa placa é ideal para ser usada em conjunto com o nó *OpenMote B*. Na composição da RSSF tem-se: Os nós implementados apenas por uma placa *OpenMote B* e uma placa de suporte com sensores. Já o *gateway* (Figura 1, lado esquerdo) é formado por três placas *OpenMote B*, permitindo a recepção nas três diferentes modulações (SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM) em simultâneo. Estas placas estão conectadas a um *laptop* com o sistema operacional Linux e executando um

script escrito em Python, responsável por coletar as informações transmitidas pelos nós, fazer um pré-processamento e encaminhar para o servidor. Este *laptop* está conectado a uma rede exclusiva para este monitoramento e, como redundância, a uma rede 4G.



Figura 1. Na esquerda o *Gateway* utilizado no experimento, com três *OpenMote-B* e um *laptop*. Na direita, o *Data Center* da UFPB onde os dispositivos foram instalados.

A rede de monitoramento é configurada para que cada nó comunique com o *gateway* e este por sua vez encaminhe as informações coletadas para dois servidores distintos e por dois meios distintos. Desta forma, pode-se minimizar todas as dificuldades apresentadas pelo atual sistema de monitoramento, que usa sensores embarcados no *hardware* de alguns servidores, porque os nós são de fácil realocação, ampliação e o *gateway* pode ter redundância de comunicação. Tentando manter a maior independência possível da rede de sensores do *Data Center*, em nossa proposta os nós são conectados a baterias mesmo que ele esteja sendo alimentado por um equipamento na rede elétrica do *Data Center*, mantendo desta forma a redundância de alimentação elétrica. Para o nó *gateway*, além da redundância da alimentação, mantemos também redundância da conexão com os servidores, onde os dados serão processados (sendo um servidor local e outro na nuvem), usando uma rede móvel celular 4G como redundância. Do ponto de vista da comunicação sem fio na RSSF, foi utilizado o padrão IEEE 802.15.4g, com possibilidade do uso de técnicas de diversidade de modulação, com base na proposta descrita em [Tuset-Peiró et al. 2020].

Inicialmente monitorando apenas a temperatura e umidade da sala do *Data Center*, será possível controlar (inicialmente de forma manual) os condicionadores de ar, otimizando seu uso, reduzindo os custos com energia elétrica e também diminuindo o desgaste destes equipamentos. Com uma adaptação no *hardware* pode ser possível, em trabalhos futuros, coletar um conjunto de informações úteis para o correto gerenciamento do *Data Center*, como a identificação de falha no fornecimento de energia, estado do gerador, nível de combustível do gerador, detecção de falhas nos *nobreaks* e identificação de desbalanceamento das fases da rede elétrica.

3.1. Metodologia de Avaliação

Para validar o sistema proposto foi realizado um experimento, com duração aproximada de 15 dias, funcionando 24 horas por dia, 7 dias por semana. Durante a operação, cada nó faz uma coleta das informações de temperatura e umidade por minuto, transmitindo estas informações logo em seguida para o *gateway*, primeiro na modulação SUN-FSK, depois na modulação SUN-OQPSK e por último na modulação SUN-OFDM. Foi considerado um intervalo de tempo entre as transmissões de 100 ms, assim como adotado

em [Tuset-Peiró et al. 2020]. Desta forma, tem-se um total de aproximadamente 65 mil transmissões, por nó, neste período de 15 dias. Sendo mais de 21 mil transmissões por cada tipo de modulação, por nó.

Os testes foram realizados em uma sala de *Data Center* (Figura 1, lado direito) da UFPB, com tamanho aproximado de 28m², com piso elevado e teto rebaixado para facilitar a passagem dos cabos. Na sua configuração atual, a sala possui 3 condicionadores de ar do tipo Split, sendo dois de 48 mil BTUs e um de 60 mil BTUs, para resfriar todos os principais equipamentos da instituição, que são divididos em 9 racks. O correto funcionamento deste *Data Center* tem dependência direta da sala de *nobreaks* e do gerador, que ficam em outros locais anexos ao *Data Center*.

Iniciou-se o experimento com dois nós dentro do *Data Center* (TX01 e TX03) e mais um nó em uma caixa plástica colada na carenagem do gerador (TX02). Exatamente uma semana depois do início dos testes foi possível adicionar mais um nó (TX04) ao teste. Optamos por adicionar este nó no *Data Center*. O *gateway* foi instalado em uma sala com pouco uso e com a possibilidade de manter a porta fechada, o mais próximo possível da parte central do prédio. Em caso da implantação em definitivo deste projeto, o *laptop* do *gateway* poderá ser substituído por um minicomputador do tipo *Raspberry Pi* e este poderia ficar em uma caixa fechada fixada na parede do corredor central. Na Figura 2, do lado esquerdo, é possível visualizar a distribuição dos nós no *Data Center*. Na Figura 2, do lado direito, pode-se observar a planta baixa do prédio da STI, localizando cada um dos equipamentos. Os nós transmissores estão localizados no DC e no gerador e o *gateway* na sala GWT. A distância aproximada entre o *gateway* e o *Data Center* é de 30 metros. Já para o gerador essa distância é de aproximadamente 40 metros, em ambos os casos sem visada direta. Na Figura 3, apresenta-se o nó TX02, que foi instalado dentro de uma caixa plástica. Isso foi necessário porque ele foi instalado na parte externa da carenagem do gerador, ficando sujeito a intempéries.

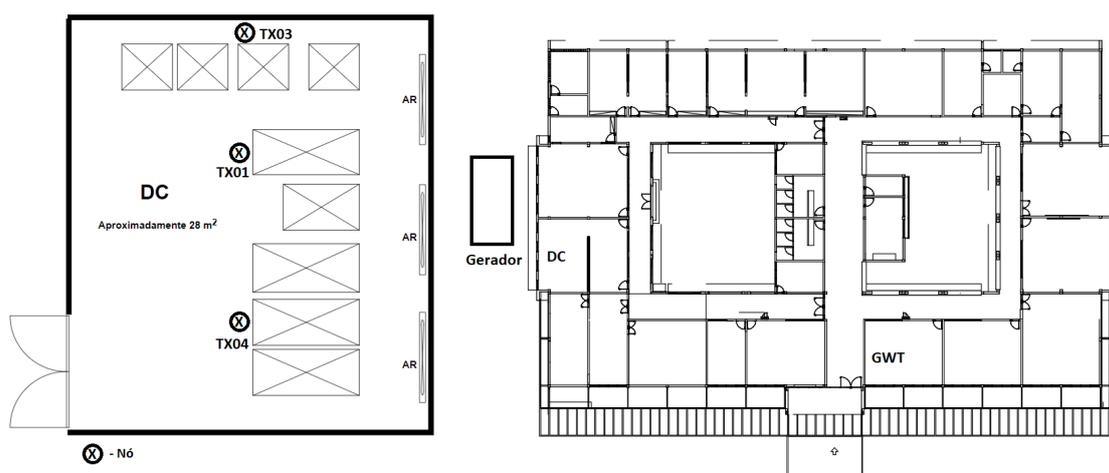


Figura 2. Planta baixa do *Data Center* com os três nós sensores (lado esquerdo) e indicando as posições do gerador, do *Data Center* (DC) e do *gateway* (GWT) (lado direito).

Figura 3. Nó TX02 instalado no gerador.



Tabela 2. Taxa de entrega de pacote para as modulações SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM por nó.

Nó	SUN-FSK		SUN-OQPSK		SUN-OFDM	
	PHY	APP	PHY	APP	PHY	APP
TX01	96,79%	97,94%	96,47%	97,86%	81,35%	88,86%
TX02	39,56%	51,67%	82,37%	87,37%	33,27%	48,73%
TX03	7,94%	17,47%	51,87%	60,99%	1,85%	5,13%
TX04	31,15%	53,33%	88,85%	92,30%	7,25%	15,58%

4. Resultados

Nesta seção são descritos os resultados obtidos para validação do sistema proposto neste trabalho e para verificar a qualidade de comunicação nas três diferentes modulações, considerando quatro nós sensores em simultâneo. Durante o período de testes, foi possível coletar muitas informações referentes às três modulações propostas (SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM) e ainda fazer a configuração para o monitoramento em tempo real e geração de alertas por e-mail ou *Telegram* em casos de mudança de temperatura e/ou umidade para um nível não desejado.

4.0.1. Resultados para a modulação SUN-FSK

Para esta modulação foi observada uma taxa média total de entrega de pacote (PHY) de 42,18% e, com o uso da técnica de replicação de pacotes (APP), ou seja, transmitindo o mesmo pacote três vezes, a taxa média total subiu para 49,75%. Nessa análise, considerou-se as transmissões realizadas por todos os nós durante o período de teste. É interessante analisar também os dados obtidos por cada nó individualmente, que são mostrados na Tabela 2 e no gráfico de cima da Figura 4. Como é possível observar na tabela e no gráfico, a taxa média de entrega de pacotes variou muito entre os nós, com o nó TX01 ficando com pouco mais de 96% de taxa média de entrega de pacotes, o TX02 com pouco mais de 39%, o TX03 com pouco menos de 8% e o TX04 com mais de 31%. Essa variação entre o nó TX01 e o nó TX02 provavelmente ocorreu por causa do aumento da distância e do número de barreiras que, em ambos os casos, eram maiores para o nó TX02.

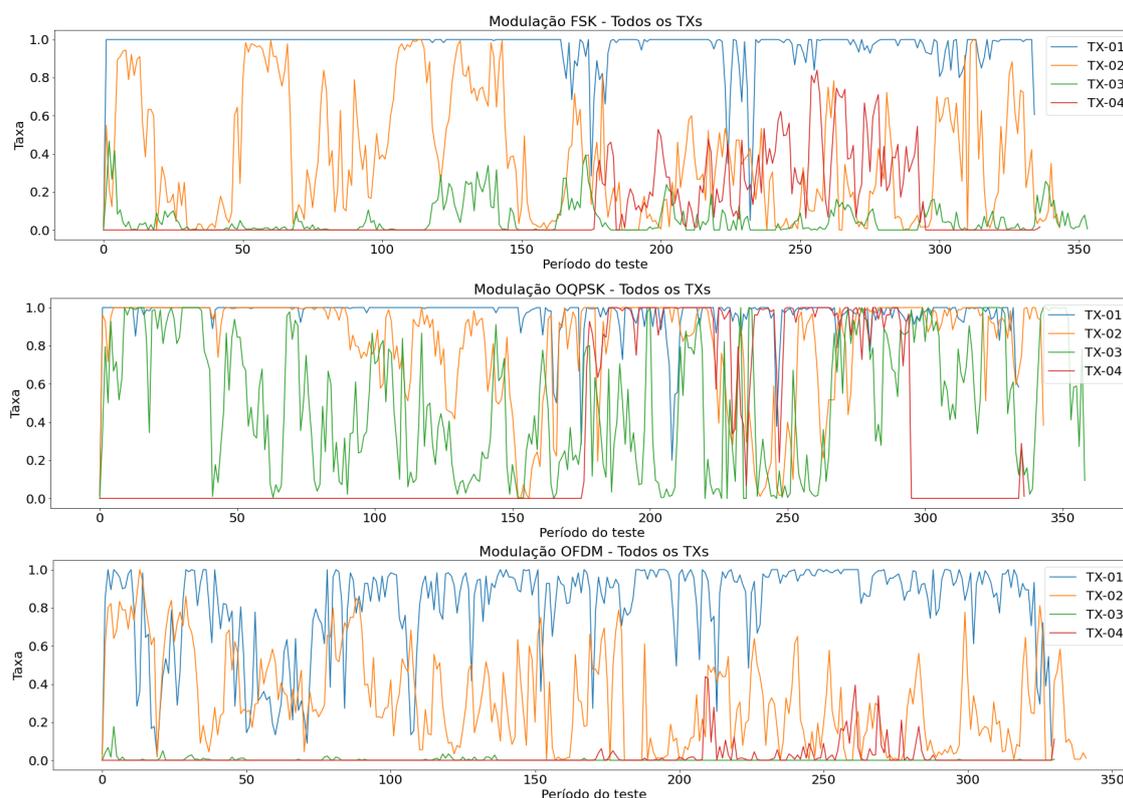


Figura 4. Taxa de entrega de pacote (PHY) por nó para as modulações SUN-FSK (em cima), SUN-OQPSK (no meio) e SUN-OFDM (embaixo).

Já o nó TX03 apresentou uma taxa de entrega de pacote muito baixa para essa modulação. Embora tenha sido instalado na parte de trás de um dos *racks* e entre a parede (com quadros elétricos), o resultado foi muito diferente dos outros nós, gerando uma desconfiança de problemas com o *hardware* do nó. Desconfiança esta, também gerada pelo nó TX04, que embora tenha conseguido um resultado bem melhor que o TX03, estava posicionado próximo ao nó TX01 e com as mesmas quantidades de barreiras até o *gateway* deste, mesmo assim ficou com a taxa de entrega de pacotes de menos de um terço do nó TX01. No gráfico da Figura 4 pode-se observar também que existe uma variação temporal na qualidade dos enlaces, o que pode ser justificado por modificações temporárias no perfil de multipercursos do ambiente (ex: obstruções temporárias).

4.0.2. Resultados para a modulação SUN-OQPSK

Para a modulação SUN-OQPSK observou-se, na tabela 2 e no gráfico da figura 4, uma taxa média total de entrega de pacote (PHY) de 71,95%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 77,14%. Nessa análise, considerou-se as transmissões realizadas por todos os nós durante o período de teste. Os dados obtidos por cada nó individualmente são mostrados na Tabela 2 e no gráfico do meio da Figura 4.

Observando-se a tabela e o gráfico, identifica-se que a taxa média de entrega de pacote variou muito entre os nós, mas a variação foi menor quando comparado com o

resultado obtido para a modulação SUN-FSK. Na modulação SUN-OQPSK, o nó TX01 ficou com pouco mais de 96% de taxa média de entrega de pacotes, o TX02 com pouco mais de 82%, o TX03 com pouco mais de 51% e o TX04 com pouco mais de 88%. A variação entre o nó TX01 e o nó TX02 provavelmente ocorreu por causa do aumento da distância e do número de barreiras, como discutido anteriormente para a modulação SUN-FSK, mas com uma diferença bem menor entre os dois nós. Já o nó TX03, embora tenha apresentado resultado bem melhor que o observado para a modulação SUN-FSK, continua muito diferente dos outros, gerando uma desconfiança de problemas com a *hardware* do nó durante parte do experimento. Para essa modulação, o nó TX04 conseguiu resultados bem melhores em comparação com as outras modulações, mas ainda um pouco piores que o nó TX01.

4.0.3. Resultados para a modulação SUN-OFDM

Para esta modulação foi observada uma taxa média total de entrega de pacote (PHY) de 32,59%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (APP), a taxa média total subiu para 39,98%. Nessa análise, considerou-se as transmissões realizadas por todo os nós durante o período de teste. Os dados obtidos por cada nó individualmente são mostrados na Tabela 2 e no gráfico de baixo da Figura 4.

Observando-se a tabela e o gráfico, identifica-se uma maior variação em comparação com as outras modulações. O nó TX01 ficou com pouco mais de 81% de taxa média de entrega de pacotes, o TX02 com pouco mais de 33%, o TX03 com menos de 2% e o TX04 com pouco mais de 7%. A modulação SUN-OFDM foi a que apresentou os piores resultado na taxa média de entrega de pacote, tanto por nó, quanto geral. Isso se deve à menor potência de transmissão permitida para essa modulação pelo dispositivo usado, como também discutido em [Tuset-Peiró et al. 2020].

4.1. Monitoramento em tempo real e geração de alertas

Para permitir o monitoramento em tempo real foi utilizada a ferramenta *Grafana*, que consiste em uma aplicação web, de código fonte aberto, para análise e monitoramento e que pode se conectar a diversas fontes de dados, fornecendo tabelas, gráficos e alertas [gra 2022]. Com o *Grafana* é possível conectar, em tempo real, com a base de dados gerada pelo DCMonitor. Na Figura 5 apresenta-se um exemplo de uma tela no *Grafana* configurada para apresentar a temperatura e a umidade atual do *Data Center* na parte de cima e um histórico dessas informações nos gráficos da parte de baixo. Pode-se também enviar alertas de várias formas e usando diversas ferramentas, entre elas o e-mail e o *Telegram*.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi apresentado o DCMonitor, uma sistema que possibilita o monitoramento de *Data Centers* com o uso de dispositivos IoT e usando RSSF, com suas vantagens e facilidades em relação a outros meios de comunicação para monitoramento. Para isso, adotou-se o padrão IEEE 802.15.4g, e três diferentes modulações (SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM) foram avaliadas.

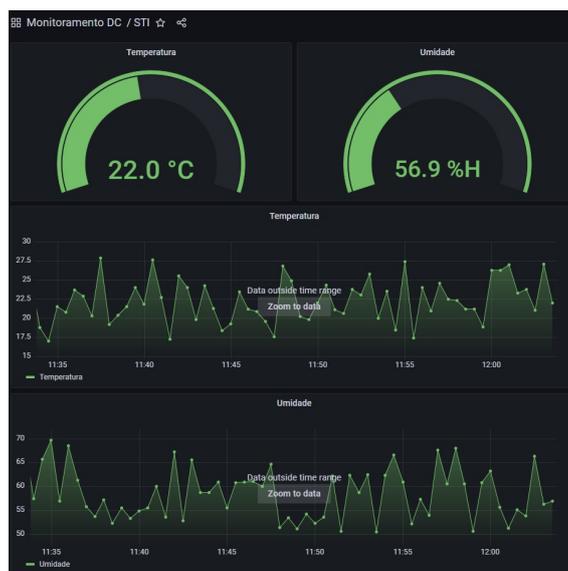


Figura 5. Monitoramento em tempo real da temperatura e umidade com o Grafana.

A partir do experimento realizado, identificou-se que a modulação SUN-OQPSK apresentou a melhor confiabilidade, permitindo o monitoramento a partir de todos os nós implantados, com no mínimo 60% de taxa de entrega de pacote na camada de aplicação. Embora com essa taxa de entrega seja possível monitorar grandezas que modificam lentamente, como temperatura e umidade, técnicas adicionais de confiabilidade devem ser exploradas para aumento de confiabilidade, visando inclusive a redução do consumo de energia dos dispositivos. No entanto, apesar dos problemas de confiabilidade de comunicação, foi possível observar a viabilidade de implantação do sistema DCMonitor no *Data Center* da UFPB e a integração com ferramentas atuais de monitoramento de redes.

Como sugestão de trabalhos futuros pode-se citar a avaliação do desempenho do sistema utilizando outros mecanismos de diversidade para aumento de confiabilidade (ex: diversidade de receptor e de canal), bem como a avaliação do sistema com a infraestrutura de rede compartilhada com outras aplicações de IoT no campus. Testes de mecanismos de escolha dinâmica de modulação para transmissão de cada replicação dos pacotes também podem ser explorados em trabalhos futuros.

Referências

- (2022). grafana. <https://grafana.com/>. Acessado em: 15-08-2022.
- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15):2787–2805.
- Castro, J. M. d. et al. (2019). Refinamento de políticas para auxiliar no gerenciamento de dispositivos iot em hospitais inteligentes.
- EC (2022). European commission, smart cities. https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_pt. Acessado em: 06-04-2022.

- Gomes, R. D., Alencar, M. S., Fonseca, I. E., and Lima Filho, A. C. (2014). Desafios de redes de sensores sem fio industriais. *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, 4(1):16–27.
- Kohler, E. L. et al. (2020). Comunicação cooperativa em redes ieee 802.15. 4g sob interferência lorawan. Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Marfievici, R., Corbalán, P., Rojas, D., McGibney, A., Rea, S., and Pesch, D. (2017). Tales from the c130 horror room: A wireless sensor network story in a data center. In *Proceedings of the first ACM international workshop on the engineering of reliable, robust, and secure embedded wireless sensing systems*, pages 24–31.
- Medina-Santiago, A., Azucena, A. D. P., Gómez-Zea, J. M., Jesús-Magaña, J. A., de la Luz Valdez-Ramos, M., Sosa-Silva, E., and Falcón-Pérez, F. (2019). Adaptive model iot for monitoring in data centers. *IEEE Access*, 8:5622–5634.
- Mehta, G., Mitra, G., and Yadav, V. K. (2018). Application of iot to optimize data center operations. In *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, pages 738–742. IEEE.
- Neves, A. R. d. M., Sarmanho, K. U., Nascimento Jr, F. C., and Meiguins, B. S. (2017). Iniciativa smart campus: um estudo de caso em progresso na universidade federal do pará. In *Anais do I Workshop de Computação Urbana*. SBC.
- Polonelli, T., Brunelli, D., Bartolini, A., and Benini, L. (2018). A lorawan wireless sensor network for data center temperature monitoring. In *International Conference on Applications in Electronics Pervading Industry, Environment and Society*, pages 169–177. Springer.
- Saraiva, F. A. M. et al. (2020). Controle dinâmico de potência em redes wi-sun/ieee 802.15. 4g em topologia linear.
- Tanenbaum, A. S. (2016). *Sistemas operacionais modernos*, volume 4. Pearson Education do Brasil.
- Teixeira, D., Vogel, A., and Griebler, D. (2020). Proposta de monitoramento e gerenciamento inteligente de temperatura em datacenters. In *Anais da XVII Escola Regional de Redes de Computadores*, pages 33–40. SBC.
- Tuset, P., Vilajosana, X., and Watteyne, T. (2016). OpenMote+: a Range-Agile Multi-Radio Mote. In *International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks (EWSN)*, pages 333–334, Graz, Austria. ACM.
- Tuset-Peiró, P., Gomes, R. D., Thubert, P., Cuerva, E., Egusquiza, E., and Vilajosana, X. (2020). A dataset to evaluate ieee 802.15.4g sun for dependable low-power wireless communications in industrial scenarios. *Data*, 5(3).