

Sistema Embarcado de Monitoramento e Alerta de Temperatura para Data Center

Yasmim M. D. Lisboa* Emanuele D. Silva* André O. C. da Silva*
Elen P. de S. Lobato** Antonio R. M. de Sousa** Wellington da S. Fonseca.**

*Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica, Universidade Federal do Pará, Pará, Brasil
(Tel: +55 91 3201-8911; e-mail: yasmim.lisboa@itec.ufpa.br, emanuele.silva@itec.ufpa.br,
andre.carvalho.silva@itec.ufpa.br).

**Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia, Universidade Federal do Pará,
Pará, Brasil (e-mail: elen.lobato@itec.ufpa.br; roniel.pcp@gmail.com, fonseca@ufpa.br).

Abstract: Data Centers are fundamental to the information technology infrastructure, ensuring the storage, processing, and distribution of data. Ensuring adequate thermal conditions in these locations is essential for the performance and operation of the equipment, requiring precise monitoring and efficient operation of the cooling system. Within this context, this paper presents an on-site Thermal Monitoring and Alert System (SMAT, acronym in Portuguese) and via WhatsApp for Data Centers. The system was developed using the ESP32 microcontroller in conjunction with a thermistor sensor and other components. Among the SMAT functionalities, the sending of notifications via WhatsApp and the possibility of remote code updates, when necessary, through the Over the Air (OTA) protocol stand out. Thus, SMAT presents itself as an effective tool for temperature monitoring in Data Centers, helping to avoid additional operating costs resulting from high temperatures or excessive cooling, in addition to contributing to the increase in the useful life of the equipment. The system also helps to promote energy efficiency by monitoring the actual need for cooling. In order to verify the functioning and usability of SMAT, tests were carried out in a real Data Center of an Energy Efficiency Center, which demonstrated that the module operated correctly and as expected, in a scenario considered to be of high temperature. In view of this, the authors conclude that SMAT is a functional tool for monitoring Data Centers, due to its capacity for precise sensing, information storage and remote calibration.

Resumo: Os *Data Centers* são fundamentais na infraestrutura de tecnologia da informação, assegurando o armazenamento, processamento e distribuição de dados. A garantia de condições térmicas adequadas nesses locais é essencial para o desempenho e funcionamento dos equipamentos, exigindo um monitoramento preciso e uma operação eficiente do sistema de refrigeração. Dentro desse contexto, este trabalho apresenta um Sistema de Monitoramento e Alerta Térmico (SMAT) *in loco* e via *WhatsApp* para *Data Centers*. O sistema foi desenvolvido utilizando o microcontrolador ESP32 em conjunto com um sensor termistor e outros componentes. Entre as funcionalidades do SMAT destacam-se o envio de notificações via *Whatsapp* e a possibilidade de atualizações remotas do código, quando necessário, através do protocolo *Over the Air* (OTA). Assim, o SMAT apresenta-se como uma ferramenta eficaz para o monitoramento de temperatura em *Data Centers*, ajudando a evitar custos operacionais adicionais decorrentes de temperaturas elevadas ou resfriamento excessivo, além de contribuir para o aumento da vida útil dos equipamentos. O sistema também ajuda a promover a eficiência energética ao monitorar a necessidade real de refrigeração. Como forma de verificar o funcionamento e a usabilidade do SMAT, foram realizados testes em um *Data Center* real de um Centro de Eficiência Energética, que demonstraram que o módulo operou corretamente e conforme o esperado, em um cenário considerado de alta temperatura. Diante disso, os autores concluem que o SMAT é uma ferramenta funcional para o monitoramento de *Data Centers*, devido à sua capacidade de sensoriamento preciso, armazenamento de informações e calibração remota.

Keywords: Alert; Data Center; Energy Efficiency; Internet of Things; Monitoring; Over the Air; Refrigeration; Embedded System; Thermal.

Palavras-chaves: Alerta; *Data Center*; Eficiência Energética; Internet das Coisas; Monitoramento; Over the Air; Refrigeração; Sistema Embarcado; Térmico.

1. INTRODUÇÃO

O advento da Internet revolucionou a maneira como as informações são transmitidas e acessadas (Bălău et al. 2017). Esse marco histórico desencadeou uma nova era de conectividade global, permitindo o compartilhamento instantâneo de dados em escala sem precedentes (Swamy et al., 2020).

Com a disseminação da Internet, ao longo do tempo foram surgindo novas tecnologias, dentre elas a Internet das Coisas (IoT). A IoT representa um avanço significativo na interconexão de dispositivos, ao permitir a conexão de dispositivos à internet e a interação entre os mesmos (Mascarenhas et al., 2021). Essa interligação de dispositivos, sensores e sistemas abriu caminho para uma revolução na forma como interagimos com o mundo ao nosso redor. Na indústria, a IoT desempenha um papel crucial na criação de ambientes de produção inteligentes e altamente eficientes, caracterizados pela troca de dados em tempo real (Fernandes de Avila et al., 2022).

Como uma das bases fundamentais da Indústria 4.0, os sistemas controlados por meio de comandos via Internet estão redefinindo os paradigmas da produção industrial (da Silva et al., 2023). Essa abordagem permite não apenas o monitoramento remoto de dispositivos, mas também a execução de operações complexas de forma automatizada e autônoma. Ao integrar dispositivos físicos ao ambiente digital, a IoT impulsiona a eficiência, a flexibilidade e a agilidade nas operações fabris, resultando em processos mais otimizados e econômicos (Marinova-Kostova et al. 2021). Quando integrada a sistemas embarcados, que incluem sensores e outros dispositivos de medição, essa rede de conexões possibilita o monitoramento em tempo real das condições dos equipamentos (Soares et al., 2021)

Os *Data Centers*, também denominados centros de processamento de dados, desempenham um papel crucial na infraestrutura de tecnologia da informação de diversas organizações. Esses centros são responsáveis pelo armazenamento, processamento e distribuição de uma enorme quantidade de dados de forma eficiente e confiável (Houqi et al., 2024). Eles são projetados para garantir alta disponibilidade, segurança robusta e eficiência energética, atendendo às demandas crescentes por serviços digitais em diversas áreas (Gao et al., 2022). Para garantir o bom desempenho dos processadores e prolongar a vida útil dos *desktops*, supercomputadores, *clusters*, entre outros componentes eletrônicos, é fundamental manter as condições de temperatura adequadas. Para isso, o sistema de refrigeração deve ser devidamente operado e monitorado (César Filho, 2022). Contudo, em locais onde não existe um sistema de monitoramento 24h de temperatura, ou uma pessoa dedicada a realizar esse monitoramento *in loco* esse monitoramento torna-se mais difícil.

Dentro desse contexto, este trabalho apresenta um Sistema de Monitoramento e Alerta Térmico (SMAT) *in loco* e via WhatsApp para *Data Centers*. Dentre as funcionalidades do SMAT destacam-se a possibilidade de envio de notificações via *Whatsapp* e a possibilidade de atualizações remotas

código, quando necessário, através do protocolo *Over the Air (OTA)*. O sistema foi testado no *Data Center* do Centro de Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), conforme apresentado na seção 5.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: na seção 3 serão apresentados alguns trabalhos relacionados ao monitoramento de *Data Centers*; na seção 4 será apresentada a metodologia de implementação do SMAT; na seção 5 os resultados dos testes de funcionamento realizados; e finalmente, na seção 6 as conclusões dos autores e as intenções de trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Centros de dados costumam possuir um alto consumo de energia anual, grande parte desse consumo é do sistema de refrigeração. Segundo Wang et al. (2022), aproximadamente 1,3% do consumo global de eletricidade provém da indústria de centros de dados, com o sistema de resfriamento responsável por 30% a 50% desse total. Por isso, é tão importante monitorar o uso dos sistemas de resfriamento em *Data Centers*. Nesse contexto, Polonelli et al., (2019) propõe a monitorização de baixo custo usando uma rede de sensores sem fio *LoRa* e alimentação por bateria. As informações térmicas adquiridas são administradas por uma aplicação no *Node-red*, a fim de otimizar a eficiência energética da refrigeração e evitar o aquecimento do *Data Center* que abriga o servidor de armazenamento dos dados.

Nos centros de dados, o bom desempenho dos equipamentos, como *switches*, roteadores e *racks*, é fundamental para garantir o funcionamento correto da central. Portanto, o controle térmico adequado é essencial, uma vez que o resfriamento excessivo ou altas temperaturas podem resultar em aumentos significativos nos custos operacionais da empresa. Mehta et al., (2018) propuseram a integração de dispositivos IoT como uma estratégia promissora para aumentar a eficiência energética nos centros de dados. Ao posicionar diversos sensores estrategicamente, foi possível monitorar em tempo real as condições térmicas, permitindo ajustes precisos no sistema de refrigeração e otimizando o consumo de energia. Essa abordagem buscou não apenas reduzir os custos operacionais, mas também assegurar um ambiente estável e confiável para os equipamentos críticos.

Ismail et al., (2021) desenvolveu um sistema embarcado usando o microcontrolador ESP32 e o sensor DHT11 para detecção da temperatura e umidade de uma área de armazenamento de peças de aviões. Tal como os *Data Centers*, esse ambiente de armazenamento de peças de aviões, abrigam equipamentos sensíveis a elevadas temperaturas. Além disso, foi desenvolvido um sistema de alerta via e-mail e um sinalizador sonoro. Dessa forma, o presente trabalho propõe, similarmente, um sistema de monitoramento e alerta da temperatura porém aplicado à *Data Centers* e a notificação é realizada via *WhatsApp*. Apesar da atual versão do SMAT não monitorar a umidade, pretende-se adicionar o monitoramento dessa importante variável na sua próxima versão.

Lisboa et al., (2023) destaca o uso de tecnologia OTA através do microcontrolador ESP32 no desenvolvimento de sistemas

IoT. Os autores exploraram o monitoramento térmico de uma usina fotovoltaica visando a análise da eficiência energética e projeção do tempo de vida do equipamento. Semelhantemente, o SMAT utiliza o protocolo OTA e também visa prolongar a vida útil de equipamentos, porém em ambientes de *Data Centers*.

O presente trabalho se distingue dos demais, principalmente por conta do envio de alertas via WhatsApp para o operador responsável pelo *Data Center*; todas as vezes que o sistema detecta uma temperatura máxima. Tal funcionalidade permite que o operador seja notificado imediatamente, e possa tomar as ações necessárias para normalizar a temperatura do ambiente, ou até mesmo desligar as máquinas, para não comprometer o seu funcionamento, até que o sistema de refrigeração seja normalizado.

4. METODOLOGIA

Para o melhor entendimento da metodologia de implementação do SMAT, esta seção foi dividida em duas subseções, onde a subseção 4.1. para abordar o desenvolvimento da parte de *Hardware* do Sistema de Monitoramento e a subseção 4.2 aborda o desenvolvimento da parte de comunicação do SMAT.

4.1 Hardware do Sistema de Monitoramento

Para realizar o fornecimento de energia para o módulo de monitoramento foi utilizado um carregador portátil *bivolt*, com saída de 5V, conectado à entrada USB do microcontrolador ESP32. A partir da ESP32 é fornecida a alimentação aos demais componentes.

Para o monitoramento térmico foi utilizado o sensor termistor do tipo NTC que varia sua resistência elétrica conforme aumenta a temperatura no espaço localizado. Segundo o *datasheet* do componente (EPCOS, 2006), o termistor NTC MF52 opera na faixa de temperatura de -40°C a 125°C , sendo 25°C seu ponto de resistência zero.

Para calcular a temperatura, adotou-se a equação de *Steinhart-Hart* (1) para relacionar a variação de resistência na saída do divisor de tensão do termistor. Nesta expressão matemática, as variáveis α , β e C são constantes da equação que dependem do tipo de construção, material e faixa de temperatura do termistor. T representa a temperatura em *Kelvin*, enquanto R é a resistência do termistor, a qual varia conforme a temperatura T .

$$\frac{1}{T} = a + \beta \ln \ln (R) + C(\ln (R))^3 \quad (1)$$

Considerou-se a variável C como nula para simplificação da expressão (2). Neste contexto, as variáveis T_0 e R_0 representam, respectivamente, a temperatura em *Kelvin* a 25°C e a resistência a essa temperatura.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right) \quad (2)$$

Para exibir os valores de temperatura de maneira física, optou-se pelo *Display OLED i2c 128x32*, também conhecido como Diodo Emissor de Luz Orgânica. Em contraste com outras opções de monitores físicos disponíveis no mercado, o *Display OLED i2c 128x32* oferece uma representação mais

nítida dos dados. A tecnologia OLED utiliza uma camada de material orgânico que emite luz quando as moléculas do diodo são ativadas por uma corrente elétrica (Carvalho et al. 2024). Por meio do uso deste sensor, visou-se garantir uma visualização clara e precisa dos valores de temperatura, facilitando o monitoramento *in loco*, diretamente pelo SMAT, do ambiente do *Data Center*.

As conexões entre a ESP32 e os demais componentes foram realizadas por meio das portas digitais de entrada e saída. A aquisição de dados do sensor de temperatura foi obtida através da interligação física entre o sensor e o microcontrolador. Para isso, um dos terminais do resistor foi conectado ao pino 35 da ESP32. Em seguida, o outro terminal do resistor foi conectado em série com o sensor de temperatura e posteriormente ao terra (GND). Foi necessário o uso desse resistor *pull-up* em série com o sensor de temperatura para estabelecer um divisor de tensão. Por meio dessa configuração, foi possível estabelecer uma relação linear entre a resistência do sensor de temperatura e a temperatura ambiente.

Adicionalmente, três LEDs foram integradas ao circuito com o propósito de fornecer um alerta visual. Para proteger os LEDs, foram adicionados resistores de 220Ω , que limitaram a corrente, reduzindo o risco de danos ao equipamento. O primeiro LED indica que o dispositivo está recebendo energia elétrica. Da mesma forma, o segundo sinaliza uma conexão bem-sucedida com a rede. Por fim, o terceiro LED é ativado quando a temperatura atinge valores críticos e uma mensagem de alerta é enviada através de um *bot*. Todas as ligações podem ser observadas na Fig. 1.

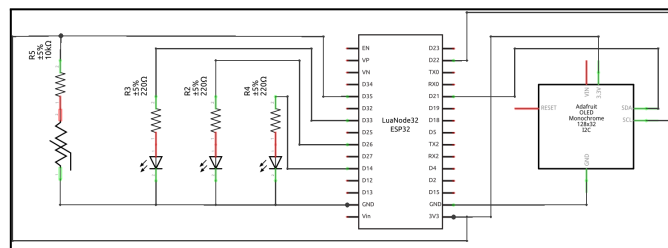


Fig. 1 Circuito Eletrônico do Sistema Embarcado.

Na Fig. 2 é possível visualizar todos os componentes descritos anteriormente em um protótipo ainda na protoboard do sistema de monitoramento. Este processo de prototipagem foi essencial para garantir a precisão e confiabilidade do sistema antes da implementação final.

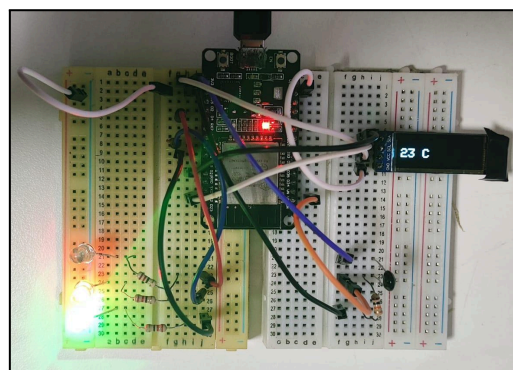


Fig. 2 Protótipo do SMAT.

Para garantir a segurança do circuito eletrônico desenvolvido foi construída uma *case* para comportar todos os componentes do SMAT, evitar o comprometimento da leitura de dados, ou até o desligamento total do sistema. Na Fig. 3 é possível visualizar a modelagem 3D da *case* desenvolvida a partir do *software SpaceClaim*, utilizando licença estudantil.

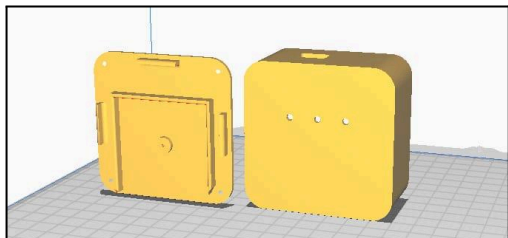


Fig. 3 Modelagem da Case.

Por fim, realizou-se a calibração do módulo de monitoramento, utilizando um multímetro digital ET-2042E Minipa conectado a um termopar para calibrar os sensores NTC em temperatura ambiente de 24°C. Dessa forma foi possível garantir uma maior confiabilidade nos dados aferidos.

4.2 Sistema de Comunicação

O desenvolvimento da comunicação do sistema SMAT consistiu em como as informações monitoradas seriam armazenadas e transmitidas para o usuário. Ademais, caso o operador detecta-se alguma falha de calibração dos sensores, como essa o módulo do SMAT poderia ser calibrado de forma remota.

Para o armazenamento dos dados de temperatura monitorados no *Data Center*, foi escolhido o *Firebase* devido à sua infraestrutura gerenciada, facilidade de integração e escalabilidade. A configuração inicial da plataforma envolveu a criação de uma conta no *Firebase* e a obtenção dos parâmetros necessários, como a URL do banco de dados e as credenciais de autenticação. O envio de dados entre o microcontrolador ESP32 e o *Firebase* foi realizado utilizando o protocolo de comunicação *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), permitindo a atualização eficiente e em tempo real das informações de temperatura.

No desenvolvimento do sistema de alerta, utilizou-se a *API CallmeBot*, uma plataforma que simplifica a comunicação entre o módulo ESP32 e aplicativos de mensagens instantâneas populares, como *WhatsApp* e *Telegram*. Essa integração foi estabelecida por meio da biblioteca *Callmebot-ESP32*, que utiliza um token de ativação gerado ao ativar a *API* para envio de mensagens. Por meio da utilização desta *API*, foi possível notificar o usuário sobre variações indesejadas na temperatura do *Data Center*, garantindo assim uma gestão eficaz do ambiente térmico (MIT License, 2023). Na Fig. 4 é possível visualizar o fluxograma da lógica de programação presente na codificação do microcontrolador e o fluxo da implementação do sistema de comunicação.

Para facilitar a calibração do SMAT, implementou-se a tecnologia OTA, permitindo a atualização remota do microcontrolador sem a necessidade de deslocamento físico

ou desmontagem do sistema embarcado. A implementação foi realizada por meio de uma interface *web server* desenvolvida em HTML, protegida por senha para garantir a segurança e confiabilidade do código. O servidor *web*, foi configurado no próprio microcontrolador ESP32, armazena as informações HTML e possibilita o acesso via um endereço IP gerado ao ligar o sistema. Para calibração dos sensores ou atualizações do microcontrolador, é necessário apenas adicionar o arquivo binário correspondente, mantendo os parâmetros de conexão *WiFi* e OTA.

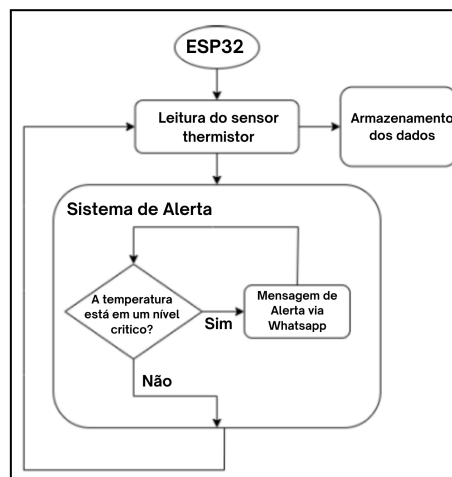


Fig. 4 Fluxograma de funcionamento do SMAT.

Na Fig. 5. é possível visualizar a ilustração da arquitetura geral do SMAT, incluindo a integração do sistema de comunicação. Onde um *Data Center* está sendo monitorado através de um sistema embarcado do SMAT, o sistema embarcado por sua vez, é composto pelas tecnologias supracitadas, as quais realiza o monitoramento, armazenamento e envio de dados, até a aplicação do Smartphone do usuário usuário final, responsável pelo *Data Center*.

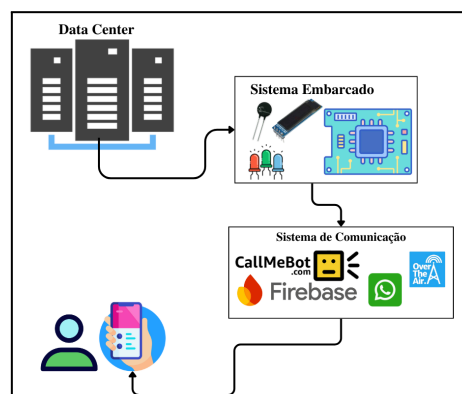


Fig 5. Arquitetura do SMAT.

5. RESULTADOS

Nesta seção serão descritos os resultados obtidos durante os testes de funcionamento do SMAT. Inicialmente será descrito o local onde o SMAT foi instalado e posteriormente serão apresentados os testes realizados para verificar o funcionamento das funcionalidades do SMAT.

5.1 Descrição do local de implantação

O SMAT foi desenvolvido usando o conceito de IoT, como forma de monitorar o *Data Center* do Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), localizado na Universidade Federal do Pará (UFPA) *Campus* Belém. O *Data Center* abriga o supercomputador nomeado de *Ubiratan*, o qual foi adquirido pelo projeto “Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora de Materiais Avançados em Energia e Mobilidade aplicados ao Contexto Amazônico” (EMOB-AMAZON), financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Além do supercomputador, o *Data Center* abriga também outros três servidores de outros projetos, monitores, *nobreaks*, *switches*, entre outros componentes, conforme pode ser visualizado na Fig.6.



Fig. 6 *Data Center* do CEAMAZON.

Todos esses componentes supracitados, se configuram como cargas térmicas e sensíveis a altas temperaturas principalmente o supercomputador *Ubiratan*. Além disso, todos os itens supracitados operam 24/7, ou seja, 24h durante todos os dias da semana.

Na Fig. 7, é possível observar o SMAT finalizado, protegido pela *case* modelada e instalado no *Data Center* CEAMAZON.



Fig 7. SMAT instalado no *Data Center* do CEAMAZON.

5.2 Testes de funcionamento

- Teste de funcionamento do protocolo OTA

Durante os testes do SMAT, foi observada uma diferença de 1°C entre as leituras do termistor e do termopar do multímetro em temperatura ambiente. Dessa forma, foi feita a calibração remota do módulo através do protocolo OTA. Para isso, utilizou-se o endereço IP da ESP32 para acessar a página HTML e adicionar o novo código com os valores calibrados. A atualização do código foi realizada com sucesso, conforme mostra a Fig. 8.

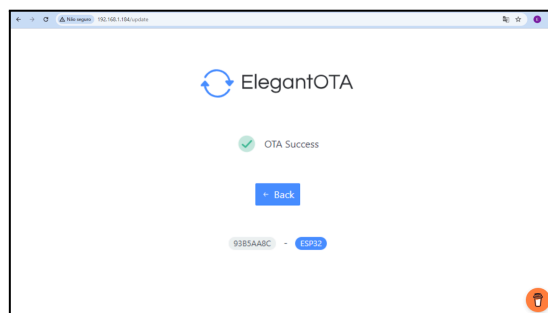


Fig. 8 Atualização do código do SMAT via OTA.

Destaca-se que essa capacidade de ajuste preciso e remoto é fundamental para garantir a precisão das medições e o desempenho confiável do sistema em operação contínua.

- Teste de funcionamento do módulo de monitoramento

Como forma de se obter um cenário de aumento gradual de temperatura, para verificar o funcionamento do SMAT, o sistema de refrigeração do *Data Center* do CEAMAZON, foi desligado durante o período de 2 horas. O gráfico da Fig. 9 mostra que o SMAT aferiu corretamente a temperatura durante esse período. Ainda no gráfico da Fig. 9 é possível visualizar que a temperatura ambiente, manteve-se em média a 27°C, foi aumentando gradualmente, até atingir o valor de 29°C.

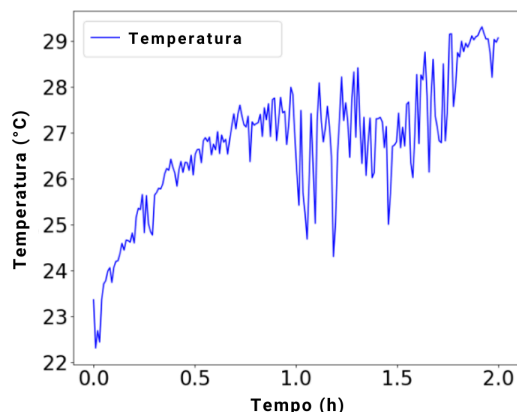


Fig 9. Gráfico de Temperatura.

Os dados plotados no gráfico da Fig. 9 foram obtidos da base de dados do SMAT armazenados no *Firestore*. Posteriormente utilizou-se duas bibliotecas *Python*, *Pandas* e *Matplotlib*, para gerar o gráfico. Onde, a *Pandas* permitiu a leitura e organização dos dados. A *Matplotlib* gerou o gráfico.

- Funcionamento do *Bot* de alerta

O SMAT foi configurado para enviar alertas via *WhatsApp* para o responsável pelo *Data Center* todas vezes em que a temperatura do ambiente chegue a 27°C. Dessa forma, durante o teste do cenário anteriormente descrito, também foi possível verificar a funcionalidade de alertas através do serviço de mensagens do *CallmeBot*. Ao atingir a temperatura de 27°C, imediatamente, o SMAT enviou a mensagem via *WhatsApp*, conforme mostrada na Fig. 10.

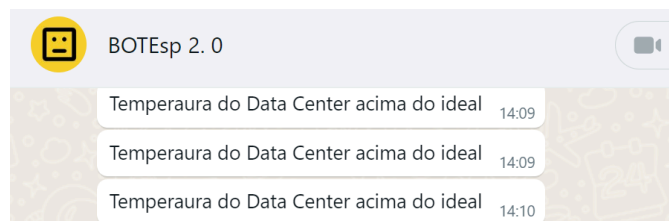


Fig 10. Mensagem de Alerta do SMAT via *WhatsApp*.

6. CONCLUSÕES

Ao adotar sistemas IoT para monitoramento da temperatura em *Data Centers*, os usuários desfrutam de uma abordagem mais conveniente, com notificações em tempo real sobre variações que possam impactar a operação dos equipamentos. Essa capacidade de alerta simplifica a supervisão e permite uma resposta rápida a problemas, minimizando o risco de falhas. O acompanhamento contínuo da temperatura é crucial para garantir a integridade e a vida útil dos equipamentos e periféricos, pois variações extremas podem causar danos e reduzir a eficiência operacional. A implementação do SMAT em um *Data Center* é essencial para melhorar a longevidade dos equipamentos, permitindo uma rápida ação diante de picos de temperatura, e contribuindo para a eficiência energética, ao oferecer uma visão detalhada das condições térmicas e otimizar o controle da refrigeração.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON) e ao Laboratório de Concepção e Análise de Dispositivos Elétricos (LCADE) pelo suporte oferecido durante o desenvolvimento do SMAT.

REFERÊNCIAS

- Carvalho, W. A. S. D., & Miranda, F. S. A. (2024). *Sistema de Etiquetas Digitais* (Bachelor's thesis).
- Cavalcante, P. S., and Frery, A. C. Monitoramento de um Data Center usando Redes de Sensores Sem Fio—Um Estudo de Caso.
- Cézar Filho, Z. D. M. (2022). Sistema para Monitoramento de Data Centers baseado em Internet das Coisas (Master's thesis).
- Da Silva Donizetti, G., da Costa Rodrigues, L. F., Sper de Almeida, E., and A. A. Santana, M. (2023). Uso da IoT para Monitoramento de Temperatura, Umidade e Presença em Data Centers. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica em Computação*, 21(1).
- EPCOS. (2006). NTC thermistors for temperature measurement. [Online]. Available: <https://www.tme.eu/Document/7f93a3d121ea8402378cf8bc6239e8d2/B57164K104J-EPCOS-datasheet-10192.pdf>. Accessed: Apr. 23, 2023.
- Espressif Systems. "ESP32-WROOM-32D & ESP32-WROOM-32U Datasheet." [Online]. Available: <https://encr.pw/22pzH>. Accessed: Mar. 25, 2023.
- Fernandes de Avila, D., Dietrich Klug, W., Oreja, E. C., Martins Rodriguez, A., and do Amaral Martins Grimmmer, J. (2022). Internet of Things e Inteligência Artificial nos meios produtivos. *Revista CIATEC-UPF*, 14(2).
- Gao, J., Wang, H., and Shen, H. (2022). Task Failure Prediction in Cloud Data Centers Using Deep Learning. *IEEE Transactions on Services Computing*, 15(3), 1411-1422.
- Houqi, D., Hao, H., Chang, L., Liying, W., Qingguang, X., Qiaohua, Z., & Ming, Z. (2024). Comprehensive Benefits Evaluation of Data Center Participating in Distribution Grid Demand Response. In *2024 6th Asia Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES)* (pp. 240-247). IEEE.
- Ismail, M. S., Mohammed, M., Sivaraman, K., Sivaraman, S., and Iqbal Hussain, M. (2021). Smart IoT temperature and humidity alert system at aircraft composite storage area. *AIP Conference Proceedings*.
- Lisboa, Y., et al. (2023). Development of an Embedded System for Monitoring a Solar Power Plant in the Amazon Region. In *2023 15th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*, São Bernardo do Campo, Brazil, pp. 1715-1722.
- Marinova-Kostova, K., and Kostov, I. (2021). Application of Internet of Things in Industry 4.0. **Economics Ecology Socium**, 5, 49-58.
- Mascarenhas, A. P. F. M., Fernandes, S. M., Freitas, F. D., Calheiros, G. B., Lefrançois, G. L. G., Bahia, M. B., & Raton, V. F. B. (2021). Desenvolvimento de produtos IOT. *Brazilian Journal of Development*, 7(1), 4711-4724.
- Mehta, G., Mittra, 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)*, Greater Noida, India, pp. 738-742.
- MT License. (2023) "Callmebot-ESP32" [Online]. Disponível: <https://github.com/hafidhh/Callmebot-ESP32/blob/master/LICENSE.md>. Acesso em Mar. 30, 2024.
- Polonelli, T., Brunelli, D., Bartolini, A., and Benini, L. (2019). A LoRaWAN Wireless Sensor Network for Data Center Temperature Monitoring.
- Soares, W. D. O., & Faria, N. C. D. S. (2021). Gerenciamento remoto da climatização de data center via IoT.
- Swamy, S. N., and Kota, S. R. (2020). An Empirical Study on System Level Aspects of Internet of Things (IoT). *IEEE Access*, 8, 188082-188134.
- Wang, X., Wen, Q., Yang, J., Xiang, J., Wang, Z., Weng, C., ... & Zheng, S. (2022). A review on data centre cooling system using heat pipe technology. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 35, 100774.