

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

Robson Adriano Ribeiro Vasquez

Uma abordagem de baixo custo para reduzir
o consumo de energia e a degradação dos
sistemas computacionais em salas de *data*
center

Alegrete
2023

Robson Adriano Ribeiro Vasquez

Uma abordagem de baixo custo para reduzir o consumo de energia e a degradação dos sistemas computacionais em salas de *data center*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Me. Celso Nobre da Fonseca

Alegrete
2023

ROBSON ADRIANO RIBEIRO VASQUEZ

Uma abordagem de baixo custo para reduzir o consumo de energia e a degradação dos sistemas computacionais em salas de data center.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 25 de janeiro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Me. Celso Nobre da Fonseca

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Dr. Alessandro Bof de Oliveira

UNIPAMPA

Prof. Dr. Marcelo Resende Thielo

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **MARCELO RESENDE THIELO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/01/2023, às 21:55, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALESSANDRO BOF DE OLIVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/01/2023, às 21:56, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CELSO NOBRE DA FONSECA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/01/2023, às 21:57, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1034896** e o código CRC **73AAC437**.

Este trabalho é dedicado a minha família.

Agradecimentos

Agradeço e dedico este trabalho especialmente a minha mãe e irmão, os quais foram meus maiores incentivadores e batalharam para me proporcionar a melhor educação. Agradeço à minha companheira por todo conforto, incentivo e compreensão, sendo uma das principais responsáveis por toda minha disciplina e dedicação a este trabalho. Aos colegas e amigos que, por anos, estiveram juntos a mim nesta batalha para me tornar um cientista. Agradeço aos mestres que encontrei durante meu caminho acadêmico, os quais dedicam seus dias a ensinar e compartilhar todo seu conhecimento. Um agradecimento especial ao meu professor orientador pela instrução e pelas conversas.

“Porque as pessoas que são loucas o suficiente
para achar que podem mudar o mundo,
são as que de fato, mudam.”
(Apple Inc., 1997)

Resumo

A evolução da humanidade ocorre simultaneamente com o surgimento de novas tecnologias. A utilização de forma eficiente de tais tecnologias afetam diretamente essa evolução, determinando qual será sua trajetória. O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de controle de ambiente de baixo custo para salas *data center*. Tal sistema será responsável por gerenciar os aparelhos de climatização do ambiente a partir de dados recebidos por sensores (por exemplo, temperatura e umidade). Foi realizado um levantamento do estado da arte na área de automação de ambiente *data center* e são apresentados os trabalhos que de alguma forma contribuem para o desenvolvimento do presente trabalho. Sistemas de controle de ambiente são fundamentais para *data center*, se aplicá-los de forma correta reduz gastos com energia elétrica e minimiza a degradação precoce dos equipamentos de Tecnologia da Informação (TI).

Palavras-chave: Automação de Ambiente Data Center. Eficiência Energética. TI Verde. Degradação.

Abstract

The evolution of humanity occurs simultaneously with the environment of new technologies. The efficient use of such technologies directly lived this evolution, determining what its trajectory will be. The objective of this work is to develop a system low cost environment control theme for data center rooms. Such a system will be responsible for managing the air conditioning equipment in the environment based on data received by sensors (for example, temperature and humidity). A survey was carried out ment of the state of the art in the area of environment data center automation, are presented the works that somehow provoked for the development of the present work bath. Environment control systems are fundamental for data center, apply them correctly reduces energy costs and minimizes the early degradation of IT equipment.

Key-words: Automation of Environment. Energy Efficiency. Green IT. Degradation.

Lista de figuras

Figura 1 – Placa NodeMCU	26
Figura 2 – Placa NodeMCU	27
Figura 3 – Esquema de ligação	29
Figura 4 – Código de clonar controle remoto	30
Figura 5 – Código de clonar controle remoto	30
Figura 6 – Código de clonar controle remoto	31
Figura 7 – Código de clonar controle remoto	31
Figura 8 – Esquema de ligação	32
Figura 9 – Código de monitoramento do ambiente	32
Figura 10 – Código de monitoramento do ambiente	32
Figura 11 – Código de monitoramento do ambiente	33

Lista de tabelas

Tabela 1 – Relevância	22
Tabela 2 – Eficiência energética	34

Lista de siglas

CMOS Óxido de Metal Semicondutor Complementar

IoT Internet das Coisas

NBTI Instabilidade de Temperatura de Polarização Negativa

PBTI Instabilidade de Temperatura de Polarização Positiva

TI Tecnologia da Informação

TI Verde Tecnologia da Informação Verde

ULA Unidade Lógica e Aritmética

Vdd Tensão de Alimentação

Vth Tensão Limiar

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Geral	13
1.1.2	Específicos	13
1.2	Organização do Trabalho	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Tecnologia da Informação Verde	15
2.2	Degradação de Componentes Computacionais	16
2.3	Internet da Coisas	19
3	TRABALHOS RELACIONADOS	21
3.1	Metodologia da Pesquisa de Trabalhos Relacionados	21
3.2	Discussão dos Trabalhos Relacionados	21
3.3	Considerações do Capítulo	23
4	DESENVOLVIMENTO	24
4.1	Descrição do Sistema de Controle do Ambiente	24
4.2	Descrição das Ferramentas e Tecnologias	24
4.2.1	NodeMCU	25
4.2.2	Sensores e Emissores	27
4.2.3	Programação	28
4.3	Desenvolvimento do sistema	28
4.3.1	Clonagem do controle remoto	28
4.3.2	Sistema de controle de ambiente	32
4.3.3	Teste	34
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS	37
	APÊNDICES	39
	APÊNDICE A – CÓDIGO DO SISTEMA DE MONITORA- MENTO DE AMBIENTE	40

1 Introdução

O avanço da tecnologia nas últimas décadas proporcionou um enorme crescimento econômico e social. Tais avanços contribuíram para a descoberta de soluções de problemas que até o momento não se tinha perspectiva de resolução, como por exemplo, a cura de diferentes tipos de doenças, o sequenciamento de genomas e até na previsão de catástrofes e desastres naturais (BERKHOUT; HERTIN, 2001). Entretanto, o aumento do uso de tecnologia influenciou negativamente em alguns problemas ambientais já existentes (e.g., o aquecimento global). Adicionalmente a estes problemas, surgiu a necessidade de utilizar cada vez mais e mais a energia elétrica (MURUGESAN, 2008).

Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (BRASIL, 2008), o aumento acentuado do consumo de energia elétrica tem inúmeros pontos negativos, apesar de representar um crescimento econômico e na qualidade de vida. Alguns desses pontos negativos são a possibilidade de esgotamento das fontes utilizadas para a produção de energia elétrica, o enorme impacto no meio ambiente e os grandes investimentos necessários para a construção de usinas e pesquisas de novas fontes de consumo. Contudo, o aumento no consumo de energia elétrica e degradação ambiental também foi impulsionado pelo avanço da tecnologia (por exemplo, celular, internet e computadores).

Com o crescimento do volume de acesso à rede mundial de computadores (*internet*), necessitou-se a criação de grandes centros de distribuição de conteúdo e informação, os chamados *Data Centers*. Tais, locais por sua vez, precisam de uma estrutura complexa para se manter em perfeito funcionamento, como por exemplo, espaço físico amplo para armazenar adequadamente as máquinas, equipamentos de computação adequados às suas necessidades, um sistema de controle de temperatura ambiente para se ter controle do estado térmico da sala, entre outros.

Entre os pontos citados anteriormente, o controle de temperatura é um dos principais fatores no consumo de energia e um fator relevante para manter a vida útil dos computadores que armazenam e distribuem dados. O aumento interno da temperatura do ambiente pode degradar as máquinas por terem que trabalhar em temperaturas elevadas e fora do padrão pré determinado na sua construção, assim precisando serem substituídas antes do esperado.

Manter tais ambientes em temperatura ideal para o funcionamento adequado dos computadores requer um alto consumo de energia elétrica devido ao gasto em resfriamento da sala, além de uma estrutura de periféricos como sensores de temperatura e umidade tanto no ambiente e como nos servidores. Tais periféricos, conhecidos como Internet das Coisas, (IoT, na sigla em inglês) integram uma rede de objetos físicos, como dispositivos, veículos, edifícios e outros, os quais estão equipados com tecnologia de comunicação, permitindo que esses objetos se conectem e troquem dados. A Internet das Coisas (IoT) permite que os objetos sejam monitorados e controlados remotamente, o que pode ser útil em vários setores, como a saúde, a agricultura, a indústria e o transporte. Além

disso, também pode ser usada para coletar dados em larga escala e usá-los para análises e tomada de decisão (SANTOS et al., 2016).

Tais problemas citados na área de tecnologia deram início ao desenvolvimento do conceito de Tecnologia da Informação Verde (TI Verde), o qual consiste em um conjunto de estratégias que buscam auxiliar de forma a melhorar o processo de criação e o uso de recursos de TI (MURUGESAN, 2008). Essa melhora visa utilizar e desenvolver de forma eficiente tais recursos para obter o melhor aproveitamento e o desempenho ou, até mesmo, aumentá-lo sem prejudicar o meio-ambiente.

Neste trabalho, apresentamos uma proposta de gerenciamento térmico e energético para salas *data centers* utilizando tecnologias de baixo custo no desenvolvimento da solução.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Considerando o exposto anteriormente, o objetivo geral deste trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema para reduzir a degradação de equipamentos computacionais (e.g., computadores e servidores) como redução da vida útil do equipamento e perda de desempenho de processamento. Tal sistema será responsável também por agir na redução do consumo de energia elétrica de salas *data centers* com a finalidade de reduzir os custos financeiros para manter o ambiente em funcionamento.

1.1.2 Específicos

Como objetivos específicos, podem ser citados os subseqüentes:

- Desenvolver um sistema de controle de temperatura para ambientes *data center*. Tal sistema irá controlar a temperatura ambiente a partir da obtenção de dados de sensores de umidade e temperatura ambiente e temperatura dos servidores.
- Desenvolver um sistema de baixo custo financeiro para que possa ser instalados em qualquer ambiente sem a necessidade de grande intervenções na estrutura física, utilizando microcontroladores, sensores de temperatura e umidade.
- Desenvolver uma sistema capaz de gerenciar o funcionamento dos equipamentos de ar-condicionado instalados na sala do *data center*. Tal gerenciamento irá determinar qual é o melhor momento de eles estarem ligados ou não, a partir de dados recebidos de sensores no ambiente.

1.2 Organização do Trabalho

O restante deste trabalho está organizado da seguinte maneira: o Capítulo 2 apresenta os conceitos relacionados ao trabalho. O Capítulo 3 relata a metodologia de pesquisa selecionada para investigar o estado da arte em sistemas de controle de temperatura e consumo energético em ambientes. Já o Capítulo 4 apresenta os métodos, ferramentas e tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do sistema proposto pelo presente trabalho. Por fim, o Capítulo 5 contém as considerações finais sobre o trabalho realizado e as próximas direções da pesquisa.

2 Fundamentação Teórica

Este Capítulo apresenta a fundamentação teórica necessária para o entendimento do restante deste trabalho. O Capítulo está organizado da seguinte forma: na Seção 2.1, é apresentado o conceito de TI Verde; Na Seção 2.2 são mostrados os efeitos da degradação de componentes computacionais; Na Seção 2.3 discute-se o conceito de IoT.

2.1 Tecnologia da Informação Verde

O avanço da tecnologia desde o final do século XX tem sido um dos fatores que favoreceu o forte crescimento da economia mundial. Tais avanços contribuíram para o desenvolvimento de inúmeras soluções para os problemas do cotidiano que se encontravam inertes, e conseqüentemente, o bem-estar humano cresceu contíguo ao avanço da tecnologia. Por outro lado, a ascensão tecnológica colaborou negativamente para o surgimento de problemas ambientais de suma importância para a sociedade (BERKHOUT; HERTIN, 2001).

Conforme (MURUGESAN, 2008), o crescente uso da tecnologia por grande parte das empresas, em tese, acarretou em um aumento considerável em problemas ambientais como, por exemplo, os relacionados ao efeito estufa que é o acúmulo de gases na atmosfera que impedem que uma parte do calor do sol que chega à Terra retorne para o espaço, mantendo assim uma temperatura ideal para a sobrevivência dos seres vivos (BRASIL, 2019). Isto porque, com o aumento do uso de *data centers*, computadores, monitores e seus periféricos, ocorreu também um aumento considerável na liberação de gases nocivos ao meio-ambiente, como o CO₂. e a elevação no consumo de energia elétrica.

Considerando os problemas ambientais apontados acima, profissionais da área de TI começaram a questionar acerca de que forma poderiam realizar medidas para reavaliar questões de produção e utilização de toda essa vasta tecnologia.

A partir dos problemas causados pelo uso dos equipamentos de TI, estudos foram feitos para se desenvolver estratégias para ajudar empresas e profissionais da área de TI a desfrutar de tais tecnologias, amenizando assim, os prejuízos financeiro, técnicos e principalmente ambientais. O resultado desses estudos foi a criação do conceito de TI Verde.

O conceito de TI Verde foi desenvolvido através desses problemas. Trata-se de um conjunto de estratégias que buscam auxiliar de forma a melhorar o processo de criação e o uso de recursos de TI (MURUGESAN, 2008). Essa melhora visa utilizar e desenvolver, de forma eficiente, tais recursos para obter o melhor aproveitamento e manter o desempenho ou, até mesmo, aumentá-lo sem prejudicar o meio-ambiente.

Na produção desses recursos objetiva-se criar produtos que (*i*) consumam menos energia, (*ii*) não utilizam ou diminuem ao máximo componentes que em sua composição tenham metais pesados e uso de materiais químicos e tóxicos. O referido conceito adota medidas para ensinar ou aprimorar o manuseio dessas ferramentas, de modo a extrair o

melhor aproveitamento possível alinhando desempenho, economia e meio-ambiente.

Abaixo são destacadas algumas das vantagens de se aplicar TI Verde :

- **Redução da emissão de gases nocivos:** A utilização otimizada dos equipamentos como computadores, monitores e seus periféricos reduz consideravelmente a emissão de tais gases no meio-ambiente.
- **Otimização do uso de recursos:** Conhecer os recursos e saber como usá-los é uma forma de se otimizar o seu uso. Com isso, não se tem perda de tempo e desperdício de dinheiro.
- **Otimização de espaço físico em ambientes de *data centers*:** Neste sentido, conhecer a melhor forma de alocar e organizar estes ambientes gera considerável economia financeira e estrutural.
- **Redução do consumo de energia elétrica:** Aderir às práticas apresentadas pelo conceito de TI Verde reduzirá drasticamente o consumo de energia.

Dentre as vantagens supracitadas, pode-se destacar a redução do consumo de energia, pois trata-se de grande preocupação nos debates sobre o conceito em questão. Tal consumo causa um enorme impacto no meio-ambiente e financeiro. Sabendo disso, empresas investem pesado em refrigeração de ambientes, principalmente aquelas do ramo de hospedagens (servidores). Tais questionamentos andam ao lado do conceito de TI Verde, sendo aplicáveis a todos os tipos de empresa, sendo ou não do ramo da TI.

2.2 Degradação de Componentes Computacionais

A degradação dos componentes de *hardware* (e.g., processadores, memórias) pode causar inúmeros problemas ao longo da vida de um computador (por exemplo, mau funcionamento, perda de desempenho), além de diminuir consideravelmente sua vida útil. Tal degradação é causada por vários fatores, tais como:

- **Má utilização dos equipamentos de TI:** A utilização inadequada de equipamentos reduz a vida útil de tais. Saber manusear computadores e periféricos de forma adequada é de suma importância para manter o equipamento em funcionando normalmente.
- **Falta de manutenção:** Não realizar manutenção apropriada nos equipamentos reduz drasticamente o ciclo de vida de destes e causa problemas em componentes internos (por exemplo, processador e memórias), causando assim, o mau funcionamento ou até mesmo a inutilização por completo do dispositivo.
- **Ambientes físicos inadequados** (por exemplo, laboratórios de informática, sala de *data center*): Ambientes inadequados para o armazenamento de equipamento de

TI causam problemas de degradação. Manter em local com umidade, recebimento direto de luz solar e não controlar a climatização do meio, reduz também o tempo de vida dos dispositivos.

- Funcionamento dos equipamentos (por exemplo, *workstations* e *data centers*) em temperaturas elevadas: Equipamentos que funcionam por longos períodos (dias ou semanas) em temperaturas elevadas podem sofrer degradação e, assim, diminuir o ciclo de vida dos equipamentos. Controlar a temperatura do meio é uma das formas de se contornar tal problema.

Dentre as causas citadas acima, destaca-se o funcionamento dos computadores (e.g., *workstations*, *data centers* e servidores de alto desempenho) em temperaturas elevadas por um período consideravelmente alto de dias e semanas. Temperaturas operacionais altas influenciam profundamente no envelhecimento de componentes de hardware como Instabilidade de Temperatura de Polarização Negativa (NBTI) e Instabilidade de Temperatura de Polarização Positiva (PBTI) (CORBETTA; FORNACIARI, 2012). NBTI e PBTI são causados por uma combinação de temperaturas elevadas e tensões de entrada negativas ou positivas. Isso resulta em um aumento na tensão limite e pode deteriorar os circuitos Óxido de Metal Semicondutor Complementar (CMOS). Variação em tensão limite terá efeitos adversos sobre a corrente e propagação de atraso e por sua vez na frequência de operação. Os efeitos de envelhecimento podem acumular para o transistor, diminuindo o desempenho e reduzindo a vida útil do chip (KIAMEHR; AMOURI; TAHOORI, 2011).

À medida que a tensão de operação aumenta, o viés negativo do transistor aumenta, o que, por sua vez, aumenta a degradação. O escalonamento da temperatura no nodo do dispositivo leva a altos campos elétricos na entrada, causando NBTI e PBTI. Tensões operacionais mais altas resultam em campos elétricos mais altos através da junção do dispositivo, resultando em maior estresse (BHUVANA et al., 2016).

Envelhecimento, por sua vez, aumenta a vulnerabilidade do componente de *hardware*, tornando-os mais suscetíveis a diferentes tipos de falhas como, por exemplo, eletromigração, ruptura dielétrica para baixo e migração de estresse (CORBETTA; FORNACIARI, 2012). Mesmo um ligeiro aumento de 10 a 15°C na temperatura de operação pode reduzir a vida útil do chip pela metade (VISWANATH; WAKHARKAR, 2000). Além disso, aplicações que usam a CPU de maneira intensiva podem acelerar ainda mais o processo de envelhecimento.

Muitos modelos foram desenvolvidos para estimar seu impacto no envelhecimento do processador. No entanto, eles precisam de informações de baixo nível do hardware (por exemplo, Tensão de Alimentação (Vdd), Tensão Limiar (Vth), Unidade Lógica e Aritmética (ULA) e do arquivo de registradores (*registers file*)), que são obtidos através da simulação ou inserção de um registrador especial na arquitetura, como por exemplo

sensor de envelhecimento ou monitores no chip. Estas informações também podem ser obtidas através de métodos algorítmicos que, além de contar também com dados sobre o *hardware*, consomem muito tempo, pois estimam o envelhecimento no transistor.

Portanto, não é possível usar tais abordagens para estimar o envelhecimento usando um sistema de tempo de execução em arquiteturas multicore reais. Por outro lado, muitos trabalhos demonstraram consistentemente que temperaturas operacionais mais altas impactam diretamente no envelhecimento (por exemplo, NBTI e PBTI). Portanto, enquanto otimizar apenas a temperatura pode não oferecer o melhor resultado possível na redução do envelhecimento, ela diminui seu efeito (HULBERT, 2004) (MAHAPATRA; KUMAR; ALAM, 2004) (ABELLA; VERA; GONZALEZ, 2007).

Um modelo típico que mostra como o aumento da temperatura acelera o processo de envelhecimento é baseado na equação de Arrhenius (STORINO, 2004). A equação usa: a temperatura normal do processador expressa em Kelvin (T_u); a constante de Boltzmann k que define a relação entre a temperatura absoluta e a energia cinética contida em cada molécula de um gás ideal; a quantidade mínima de energia necessária para iniciar uma reação química (E_a); e a base dos logaritmos naturais (e). Com isso, o fator de aceleração de envelhecimento por segundo (F_a) a uma temperatura atual (T_t expresso em Kelvin) é dado como mostrado na Equação 2.1. Embora a equação de Arrhenius não inclua outros efeitos de confiabilidade, como ciclos térmicos e gradientes térmicos espaciais, a dependência exponencial de confiabilidade sobre a temperatura é uma razão importante para fornecer a menor temperatura operacional (SKADRON et al., 2003).

$$F_a = e^{\left(\frac{E_a}{k} * \left\{ \frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_t} \right\}\right)} \quad (2.1)$$

A energia de ativação pode ser obtida através da Equação 2.2, em quais k_1 e k_2 são as duas constantes de velocidade; T_1 e T_2 são as duas temperaturas de reação correspondentes; e R é a energia cinética média.

$$E_a = \frac{R \ln \frac{k_2}{k_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (2.2)$$

A equação de Arrhenius produz o fator de aceleração do envelhecimento do processador no momento em que a temperatura é medida (e.g., cada segundo da execução da aplicação).

2.3 Internet da Coisas

A Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* (IoT)) é resultado de estudos de diferentes áreas como microeletrônica, redes de comunicação e sistemas embarcados entre outras, os quais engloba a troca de informações e processamento de dados entre diferentes dispositivos conectados à internet como por exemplo, sensores (SANTOS et al., 2016). A origem do termo Internet das Coisas é atribuída a Kevin Ashton. Segundo ele, a expressão foi usada como título de uma apresentação que ele realizou na empresa Procter & Gamble (P&G) em meados de 1999 (ASHTON et al., 2009).

IoT é um paradigma que está crescendo no cenário de comunicação de redes. A ideia básica desse conceito é a presença de diversos dispositivos conectados entre si e com a rede mundial de computadores (com rede sem fio ou não) ao nosso redor com diferentes funções de trabalho (por exemplos, atuadores, semáforos), capazes de interagir uns com os outros e com humanos para assim, cooperarem entre si para alcançar objetivos comuns (TORÇUL; ŞAĞBANŞUA; BALO, 2016).

IoT é uma extensão da rede de internet, o qual conecta dispositivos comuns do dia-a-dia que tenham capacidade computacional mínima de se conectar à rede. Tal conexão permite que se possa controlar os dispositivos de qualquer lugar do mundo pela internet, proporcionando assim inúmeras possibilidades de uso. O conceito visa unificar tudo em nosso mundo sob uma infraestrutura comum, dando-nos não apenas o controle das coisas ao nosso redor, mas também nos mantendo informados sobre o estado das coisas (SANTOS et al., 2016).

Dispositivos inteligentes e conectados à internet ajudam a resolver diversos problemas reais. No nosso cotidiano existem inúmeros dispositivos IoT ao redor de diferentes áreas que tem funções das mais diversas, como por exemplo, meios de transporte e eletrodomésticos.

Tais dispositivos pode ser usados para gerenciar *data centers* de várias maneiras. Algumas dessas maneiras incluem:

- Monitoramento em tempo real: os sensores IoT podem ser instalados em diferentes partes de um *data center* para monitorar parâmetros como temperatura, umidade, pressão e consumo de energia. Isso permite que os operadores de *data center* tenham uma visão em tempo real do funcionamento do *data center* e tomem medidas preventivas se necessário.
- Otimização de recursos: os dados coletados pelos sensores IoT podem ser usados para otimizar o uso de recursos em um *data center*. Por exemplo, os dados de temperatura podem ser usados para ajustar o ar-condicionado e a ventilação de forma a economizar energia.
- Predição de falhas: os dados coletados pelos sensores IoT também podem ser usados

para prever falhas futuras. Por exemplo, se os dados de temperatura mostrarem um aumento constante em um determinado componente de um *data center*, pode ser que esse componente esteja prestes a falhar. Isso permite que os operadores de *data center* tomem medidas preventivas antes que a falha ocorra.

- Automação: os sistemas IoT também podem ser usados para automatizar tarefas repetitivas em um *data centers*, como ligar e desligar servidores ou realizar backups de dados. Isso pode ajudar a economizar tempo e reduzir erros humanos.

3 Trabalhos Relacionados

Neste Capítulo, é retratado o cenário e os tipos de propostas utilizados na literatura para reduzir o consumo de energia e degradação dos computadores. Foi realizado um levantamento dos trabalhos que aplicam sistemas de automação de ambiente de baixo custo (e.g., IoT). Para isto, a Seção 3.1 apresenta a metodologia de pesquisa utilizada; A Seção 3.2 apresenta os resultados obtidos a partir da *string* de busca definida; Por fim, na Seção 3.3 são apresentadas as considerações finais deste Capítulo.

3.1 Metodologia da Pesquisa de Trabalhos Relacionados

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa para encontrar os trabalhos publicados em torno do tema de automação de ambiente de *data center* utilizando sistemas de baixo custo. Para realizar tal busca, duas importantes plataformas foram acessadas: *Scopus*¹ e *IEEE Xplore Digital Library*², através da seguinte *string* de busca:

- *automation and data center*

Os critérios de inclusão e exclusão foram determinados por uma escala de relevância e coerência entre o trabalho que está sendo proposto e o encontrado na literatura. Neste sentido, os seguintes níveis de relevâncias foram considerados:

- **Sem Relevância:** Trabalhos que propõem alguma técnica de automação, mas não tratam direta ou indiretamente do tema relacionado ao presente trabalho.
- **Relevância Média:** Trabalhos que propõem alguma técnica de automação de ambiente.
- **Relevância Alta:** Trabalhos que propõem técnicas de automação de ambiente para salas de *data center*.

3.2 Discussão dos Trabalhos Relacionados

A *string* de busca retornou um total de 188 trabalhos (66 na *Scopus* e 122 na *IEEE Xplore Digital Library*). A partir deste retorno, foram lidos os títulos, *abstract* e introdução para avaliar em qual nível de relevância cada artigo se encaixava. Na Tabela 1 é apresentado a quantidade de trabalhos em cada nível de relevância.

¹ Disponível em <<https://www.scopus.com/home.uri>>

² Disponível em <<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>>

Tabela 1 – Relevância.

Nível de Relevância	Quantidade de Trabalhos
Sem Relevância	164
Relevância Média	22
Relevância Alta	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após aplicar os critérios de relevância nos trabalhos obtidos com a pesquisa, foram selecionados 4 trabalhos que incorporam de alguma forma fundamentos e processos relevantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Os autores de (TRUȘCĂ et al., 2014) apresentam um modelo de monitoramento de salas *data centers* utilizando dois softwares desenvolvidos um para o controle e outro para o monitoramento do ambiente (por exemplo, temperatura do ambiente). No trabalho foram desenvolvidos tais softwares utilizando uma placa eletrônica chamada *AVR-NET-IO*³ com seu próprio firmware usando microcontrolador do tipo ATmega32⁴. Segundo os autores, ao utilizar os sistemas, é possível monitorar a variação de temperatura da sala do *data center*, e reduzir o consumo de energia e alertar a equipe técnica em caso de ocorrência de qualquer defeito. Foram espalhados sensores de temperatura em diferentes pontos do ambiente, que mediram o temperatura dos sistemas de ar de refrigeração, a temperatura interna da zona quente de dois chassis de servidores de dois racks diferentes e a temperatura ambiente externa. Os autores observaram um correlação estreita entre temperatura ambiente e do sistema de refrigeração, após isso foi desenhado um plano para reduzir o consumo de energia.

Conforme os autores de (TRUȘCĂ et al., 2012) relatam, o desenvolvimento de um sistema de alarme de defeitos de refrigeração em salas *data centers* utilizando um software que monitora e notifica uma equipe técnica responsável pelo ambiente caso haja algum problema. De acordo com os autores, o sistema monitora alguns parâmetros como tensão de alimentação das unidades de resfriamento e estado de rotação dos principais ventiladores externos que atendem a unidade com sua detecção de movimento da hélice e a temperatura da transferência de calor do circuito de troca de calor. Tal monitoramento é feito através de um programa de computador que permite a visualização dos parâmetros. O hardware do equipamento de monitoramento consiste em uma placa eletrônica chamada *AVR-NET-IO* com seu próprio firmware usando microcontrolador do tipo ATmega32. O sistema foi projetado para detectar possíveis problemas no funcionamento do dispositivo de refrigeração, com pelo menos 10 minutos antes da proteção automática contra falhas.

Os autores de (VISWANATHAN; LEE; POMPILI, 2011) demonstram o desenvolvimento de um modelo de coleta de informações (por exemplo, temperatura e umidade.)

³ Disponível em <https://www.mikrocontroller.net/articles/AVR_Net-IO_Bausatz_von_Pollin#AVR-NET-IO>

⁴ Disponível em <<https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega32>>

em tempo real de salas *data centers* usando um esquema de comunicação e coordenação que permitir a organização de uma rede de sensores externos heterogêneos (por exemplo, câmeras térmicas, sensores escalares de temperatura e umidade, medidores de fluxo de ar) em uma infraestrutura de detecção multicamadas capaz de monitorar tais locais. Segundo os autores, foram projetados duas soluções de modelagem, amostragem adaptativa autônoma e detecção e localização de pontos de acesso coordenados, para permitir a organização desses sensores heterogêneos em uma infraestrutura de detecção multicamadas inteligente que de forma adaptativa capta os dados dos sensores a serem alimentados no modelo de desequilíbrio de calor. Eles afirmam, que com os resultados, os sensores funcionam não apenas como medição passiva que monitoram fenômenos térmicos em um *data center*, mas como instrumentos de processamento de dados inteligentes, capazes de garantir a qualidade dos dados, síntese estatística e teste de hipóteses à medida que transmitem dados do ambiente físico para o mundo computacional.

Os autores de (PAKBAZNIA; GHASEMAZAR; PEDRAM, 2010) apresentam um modelo de gerenciamento térmico e de energia para *data centers* onde os recursos são provisionados dinamicamente para atender à carga de trabalho necessária ao mesmo tempo garantindo que um limite máximo de temperatura seja atingido em todo o *data center*. O objetivo é minimizar o consumo total do ambiente, incluindo a energia consumida pelo servidores e unidades de ar condicionado. Conforme os autores, foram empregados duas ações, a primeira sendo para determinar o número de servidores necessários, empregando um sistema de curto prazo para prever a carga de trabalho do *data center*. A segunda para escolher a maneira ideal que os servidores que estão sendo ociosos ou ativo a partir dos servidores disponíveis e para determinar o ótimo valor da temperatura do ar frio fornecido pela unidade de refrigeração, enquanto satisfaz as restrições térmicas do ambiente. Tal modelo mostrou-se eficaz para o esquema de provisionamento de recursos de *data center* dinâmico proposto.

3.3 Considerações do Capítulo

Através da investigação realizada do estado da arte, pode-se notar os objetivos e componentes utilizados para se realizar a automação de ambientes. Foi possível observar as várias combinações de dispositivos (por exemplo, sensores, microcontroladores e câmeras) usados para alcançar os objetivos propostos por cada artigo. Nota-se também, a preocupação em relação ao desperdício de energia elétrica visto em todos os artigos mencionados, mostrando a necessidade de se ter um sistema de controle de ambiente para reduzir ao máximo as perdas de energia, visando sempre utilizá-lo de forma eficiente.

4 Desenvolvimento

Este Capítulo apresenta o sistema que foi desenvolvido para automação de sala de *data center*. Para isto, a Seção 4.1 descreve como o sistema funciona em alto nível, na Seção 4.2 são apresentadas as ferramentas escolhidas para o desenvolvimento; Por fim, na Seção 4.3 é mostrado como foi desenvolvido o sistema.

4.1 Descrição do Sistema de Controle do Ambiente

O sistema é responsável por manter a temperatura do ambiente controlada, conforme (TC et al., 2016), sendo que a temperatura ideal para uma sala de *data center* depende de vários fatores, como o tipo de equipamentos que estão sendo usados, o número de servidores e o nível de tolerância a falhas. Em geral, é recomendado manter a temperatura em uma faixa entre 18°C e 27°C. A temperatura mais baixa possível é geralmente a melhor opção, pois os equipamentos de TI geram muito calor e, quanto mais fresco estiver o ambiente, menos trabalho o sistema de resfriamento terá que fazer.

Ele se encarregará por receber os dados dos sensores de temperatura e umidade, e executar rotinas já pré estabelecidas de como deve gerenciar o sistema de refrigeração, exemplos de rotinas:

- Nunca deixar a temperatura do ambiente ultrapassar os 27°C.
- Caso os servidores estejam em uma temperatura baixa (podendo indicar baixa carga de trabalho), diminua o uso dos ares-condicionados.

4.2 Descrição das Ferramentas e Tecnologias

Após análise de ferramentas disponíveis para realizar este trabalho, levando em conta as seguintes perguntas:

- Em relação ao preço? Avaliar se o dispositivo está compatível com o preço de venda, levando em conta que o trabalho visa o gasto mínimo possível na construção.
- Em relação a capacidade do hardware? Verificar se o dispositivo é compatível com as necessidades do sistema (como por exemplo, armazenamento, desempenho e conectividade).
- Em relação aos periféricos? Analisar se os sensores de temperatura, umidade, transmissor de infravermelho e outros são compatíveis.

Após a realização pesquisa citada anteriormente obteve-se as opções de escolha dos dispositivos *Arduino*¹, *NodeMCU*² e *Raspberry Pi*³.

¹ Disponível em <<https://www.arduino.cc/>>

² Disponível em <https://www.nodemcu.com/index_en.html>

³ Disponível em <<https://www.raspberrypi.com/>>

Foi definida a tecnologia a ser utilizadas para a construção do sistema de automação da sala de *data center*. A seguinte tecnologia foi adotada:

4.2.1 NodeMCU

O NodeMCU é uma plataforma de prototipagem de código aberto (*open source*) construído com o microcontrolador ESP8266⁴ criado para ser utilizado no desenvolvimento de projetos IoT. Esta placa foi criada em 2014, ela se destaca entre os concorrentes por já possuir Wifi integrado. Basicamente a placa é construída com o chip ESP8266, uma porta micro USB para alimentação e programação, conversor serial e Wifi nativo (VELOSO et al., 2017).

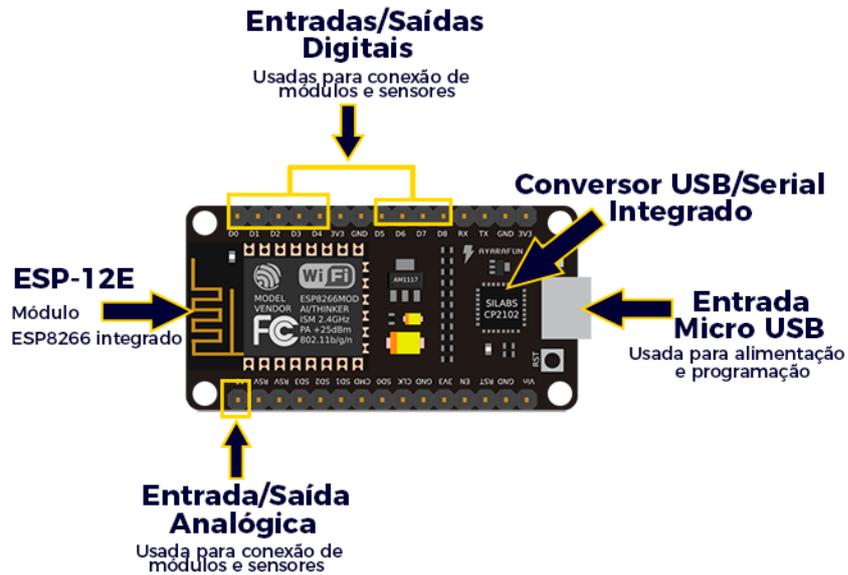
A seguir conferimos as principais características do NodeMCU:

- Processador ESP8266-12E
- Arquitetura RISC de 32 bits
- Processador que pode operar em 80MHz / 160MHz
- Memória RAM 2KB
- 4Mb de memória flash
- WiFi nativo padrão 802.11b/g/n
- Pode ser alimentada com 5VDC através do conector micro USB
- Possui 11 pinos digitais
- Possui 1 pino analógico com resolução de 10 bits
- Programável via USB ou WiFi (OTA)
- Compatível com a IDE do Arduino
- Compatível com módulos e sensores utilizados no Arduino

⁴ Disponível em <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>>

Na Figura 1 a seguir, vemos uma breve descrição da placa:

Figura 1 – Placa NodeMCU

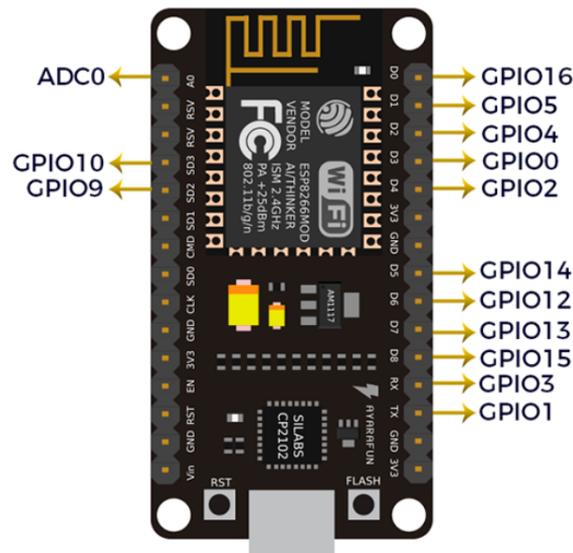


Fonte: Site blogmasterwalkershop.com.br

O NodeMCU é o controle central do sistema proposto. Ele controla os aparelhos de climatização (ligar e desligar, ajuste de temperatura) do ambiente através do uso de sinal Infravermelho (IR) emitido pelo emissor IR igual ao do controle remoto do aparelho; Recebe os dados dos sensores DHT22 (temperatura e umidade) conectado à placa; Se conecta à rede de internet sem fio utilizando o módulo *wireless*.

Na Figura 2 a seguir, podemos ver a pinagem da placa.

Figura 2 – Placa NodeMCU



Fonte: Site blogmasterwalkershop.com.br

Observe que os pinos digitais são identificados como GPIO (*General Purpose Input / Output*). GPIO é basicamente um conjunto de pinos, responsável pela comunicação de entrada e saída de sinais digitais, e funções de recepção por meio de programação. A placa possui apenas um pino analógico (ADC0), usado para alguns tipos de sensores, como por exemplo, sensor de gás, álcool, potenciômetro e outros.

4.2.2 Sensores e Emissores

Para a construção do sistema foram utilizados os seguintes:

- **Sensor de umidade e temperatura DHT22:** O sensor DHT22 (também chamado de AM2302) integra um sensor de umidade e um sensor de temperatura em um módulo. Ele fornece temperatura e umidade do ar ao mesmo tempo. Ele usa um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir o ar circundante, ambos conectados a um controlador de 8 bits, que gera um sinal digital, medindo temperatura entre -40° a $+100^{\circ}$ Celsius e umidade entre 0 a 100%.
- **Receptor de infravermelho TSOP382:** É um receptor miniaturizado para sistemas de controle remoto por infravermelhos. Capaz de reconhecer e interpretar sinal infravermelho.

- **Led emissor de infravermelho:** É utilizado em projetos que necessitam de controle via sinal infravermelho.

4.2.3 Programação

Uma das maiores vantagens de usar a plataforma baseada em ESP8266 é que pode-se usar o IDE do Arduino para programação. Como outras placas de desenvolvimento da série ESP8266, o NodeMCU também é compatível com o ambiente de desenvolvimento Arduino. Além disso, a placa pode ser programada na linguagem LUA desenvolvida por brasileiros (PUC-RIO, 2022). Ao programar NodeMCU com Arduino IDE, pode-se usar várias bibliotecas que constituem a maior parte da programação. O presente trabalho foi todo desenvolvido na Arduino IDE e linguagem de programação C++ (STROUSTRUP, 1994).

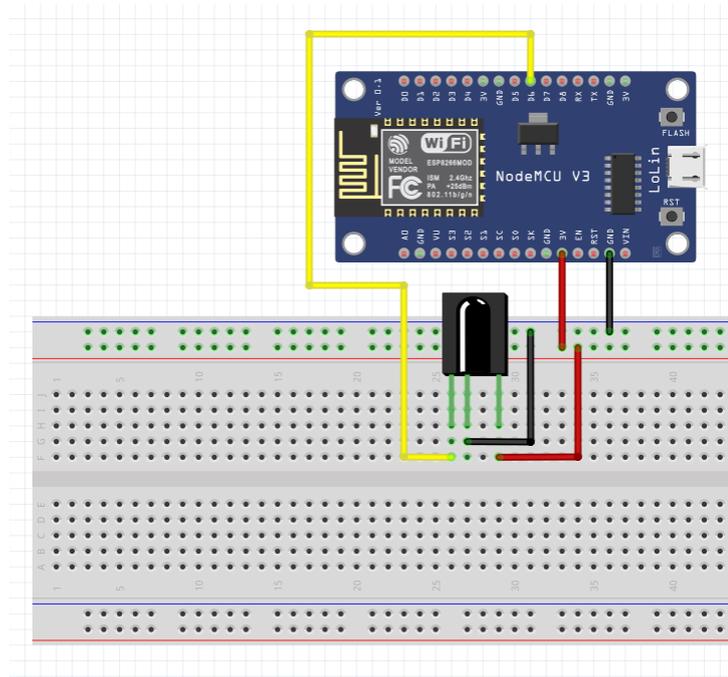
4.3 Desenvolvimento do sistema

O sistema foi desenvolvido em duas partes, primeiramente foi construído um sistema para capturar e clonar as teclas do controle remoto do ar condicionado e por fim, após ter adquirido os dados dos controles foi feito o sistema de controle do ambiente.

4.3.1 Clonagem do controle remoto

Na Figura 3 a seguir, está o esquema de ligação.

Figura 3 – Esquema de ligação



Fonte: Elaborado pelo autor

Como vemos na Figura 3, que é o esquema de montagem do sistema de clonar o controle remoto do ar condicionado. O receptor de infravermelho está conectado no pino d6 da placa, por o qual recebe os dados. Os demais fios (preto e vermelho) representam o negativo e o positivo.

Após a montagem do esquema, foi realizada a codificação na Arduino IDE com a qual o NodeMCU é compatível.

Na Figura 4 a seguir, vemos o início do código desenvolvido para clonar o controle remoto do ar condicionado.

Figura 4 – Código de clonar controle remoto

```
1 #include <IRremoteESP8266.h> //Inclusão da biblioteca
2
3 int RECV_PIN = 12; //Pino onde foi conectado o receptor
4
5 IRrecv irrecv(RECV_PIN); //Variável do tipo IRrecv
6
7 decode_results results; //Variável para armazenar o resultado
8
9 void setup() {
10   Serial.begin(115200); //Inicializa o display serial
11   irrecv.enableIRIn(); //Inicializa o receptor
12 }
```

Fonte: Elaborado pelo autor

Na primeira linha da Figura 4, vemos a inclusão da biblioteca `IRremoteESP866` responsável por fazer todo tratamento dos sinais de infravermelho recebido. Logo em seguida, na linha 3, vemos a declaração do pino da placa no qual o receptor está conectado. Na linha 5 criamos a variável do tipo `IRrecv` que recebe a variável que contém o pino que o receptor está conectado. Por fim, na linha 9 temos a função `setup` responsável por inicializar o monitor serial (o qual mostra as informações) na taxa de velocidade de 115200 e o receptor.

Figura 5 – Código de clonar controle remoto

```
14 //Método responsável por decodificar o sinal IR recebido
15 //Os dados são encaminhados para a biblioteca IRremote que faz todo tratamento e retorna as informações
16 void dump(decode_results *results) {
17   int count = results->rawlen;
18   if (results->decode_type == UNKNOWN) {
19     Serial.print("Unknown encoding: ");
20   }
21   else if (results->decode_type == NEC) {
22     Serial.print("Decoded NEC: ");
23   }
24   else if (results->decode_type == SONY) {
25     Serial.print("Decoded SONY: ");
26   }
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor

Na linha 16 da Figura 5, temos o início da função `dump` o qual é responsável por decodificar os dados do sinal de infravermelho, que após passa para a biblioteca `IRremote` que realiza o tratamento dos dados e retorna as informações de acordo com o protocolo reconhecido.

Figura 6 – Código de clonar controle remoto

```
71 void loop() {
72   //Retorna no display os dados sobre o botão pressionado no controle.
73   if (irrecv.decode(&results)) {
74     Serial.println(results.value, HEX);
75     dump(&results);
76     irrecv.resume(); //RECEBE O PRÓXIMO VALOR
77   }
78 }
```

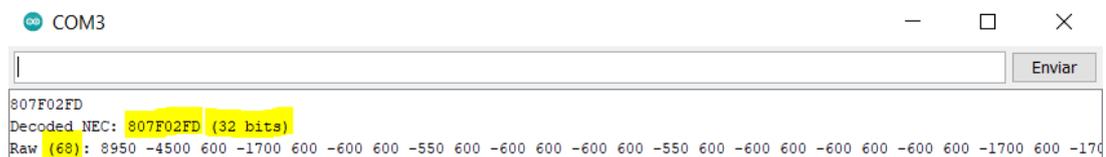
Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 6, temos a função *loop* responsável por mostrar os dados do botão pressionado do controle na tela e por executar em *loop* contínuo o código.

Após carregar o código na placa verifique se o monitor serial da IDE está com a taxa de velocidade no rodapé do monitor em 115200 *bauds*, caso não esteja modifique.

Aguarde alguns segundos após a alteração e em seguida aponte o controle remoto que será clonado para o receptor que está conectado a placa e pressione um botão e aguarde o receptor capturar os dados e mostrar no monitor serial.

Figura 7 – Código de clonar controle remoto



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 7 é possível ver um exemplo de captura do sinal de infravermelho vindo de um controle de aparelho de ar condicionado. A seguir uma descrição dos dados destacados.

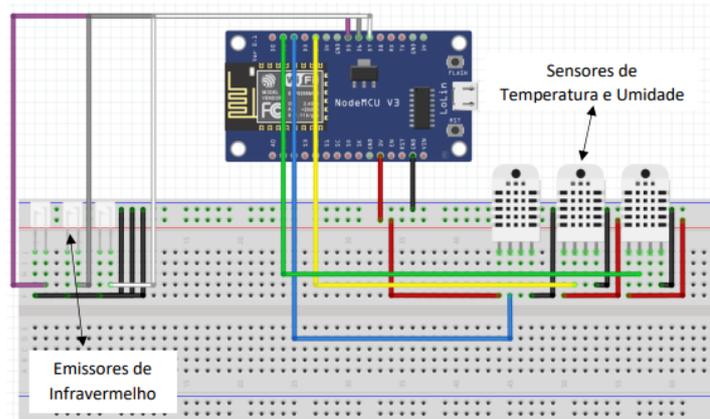
- **807F02FD**: É o código hexadecimal referente ao botão pressionado capturado pela biblioteca IRremote.
- **32 bits**: Resolução do sinal infravermelho.
- **68**: A quantidade de posições na linha Raw.

A linha Raw é o dado que desejamos para conseguir controlar o aparelho. Antes de colar esse dado no código que controla os aparelhos, precisamos remover todos os sinais de negativo de todos números que tem e substituir os espaços por vírgula. Após feito esse tratamento é só passar esse dado para o programa que envia o sinal infravermelho para controlar o aparelho.

4.3.2 Sistema de controle de ambiente

Na Figura 8 a seguir pode ser visto o esquema de ligação.

Figura 8 – Esquema de ligação



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 8 podemos ver como fica o circuito montado, tendo 3 sensores de temperatura e umidade, sendo 1 para o ambiente e os outros 2 para as máquinas de servidor e 3 leds emissores de infravermelho que enviam os dados dos botões clonados do controle remoto para controlar os 3 equipamentos de refrigeração.

Figura 9 – Código de monitoramento do ambiente

```

1 #include<ESP8266WiFi.h> //Biblioteca para funcionamento do WiFi
2 #include<ESP8266WebServer.h> //Biblioteca para funcionar como servidor
3 #include <DHT.h> //Biblioteca para funcionamento do sensor de temperatura e umidade
4 #include <IRremoteESP8266.h> //Biblioteca para enviar os sinais de infravermelho
5

```

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 9 vemos as bibliotecas utilizadas na codificação do sistema.

Figura 10 – Código de monitoramento do ambiente

```

39 // BOTÃO LIGA / DESLIGA
40 unsigned int LD_ar_1[] = {3050,1700,600,1150,550,1200,500,400,550,450,500,400,550,1150,550,
41 350,550,400,550,1200,500,1200,500,400,550,1250,550,350,550,400,550,1200,550,1250,500,400,
42 550,1200,500,1200,500,450,550,400,500,1200,500,400,550,400,550,1200,550,400,550,350,550,
43 450,500,400,550,400,550,400,550,450,550,400,550,350,550,400,500,450,550,400,550,400,550,
44 350,550,400,550,350,550,350,550,1200,550,450,550,350,550,1200,550,350,550,450,550};
45 int tam_LD_ar_1 = 100;

```

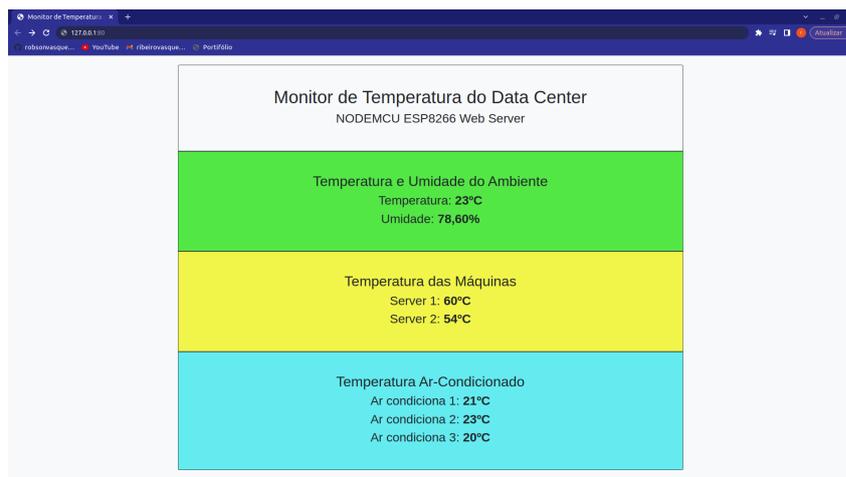
Fonte: Elaborado pelo autor

O sinal infravermelho capturado e tratado no primeiro sistema é adicionado ao código de monitoramento na linha 40 como é mostrado na Figura 10. Na linha 45 vemos o tamanho do sinal, que no caso consiste em 100 posições. O tamanho do sinal irá variar de acordo com o modelo e marca do aparelho de refrigeração.

O sistema é composto por 6 funções, são elas:

- **Função void setup:** Responsável por conectar a placa a rede wifi, cria o servidor web e inicializa os sensores de temperatura e umidade.
- **Função void handle_OnConnect:** Realiza a leitura da temperatura e umidade de todos os sensores DHT.
- **Função void handle_NotFound:** Lida com os erros de conexão com o servidor web.
- **Função void envia_sinal:** Responsável por verificar as rotinas de controle do ambiente e enviar os sinais de comandos.
- **Função String cria_HTML:** Responsável por criar o *layout* que mostra as informações do sistema no servidor web.
- **Função void loop:** Esse método é o que mantém o código em execução, ele nunca para de ser executado.

Figura 11 – Código de monitoramento do ambiente



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 11 podemos observar como é mostrado no navegador as informações do ambiente. Para conseguir acessar esses dados, basta abrir o navegador e na url adicionar o ip recebido pela placa.

4.3.3 Teste

O ambiente utilizado para realizar tais testes disponibilizava 3 aparelhos de refrigeração, tendo dois computadores para simular a carga de trabalho dos servidores para, assim, os sensores poderem interagir com o ambiente.

As duas máquinas que simulavam os servidores possuíam ambas processadores Intel i5-4460⁵ e memória ram 8gb e estavam executando o sistema operacional Linux Ubuntu 20.04 LTS⁶. Foi utilizado o programa de estresse *Stress-ng*⁷ para aumentar a carga de trabalho do processador, memória RAM, disco rígido e outros componentes do computador, simulando a carga de trabalho de servidores reais. Eleva-se a temperatura interna das máquinas e posteriormente os sensores de temperatura captam essa alteração repassando para o NodeMCU que, por sua vez, avalia a necessidade de intervir ou não no funcionamento do sistema de refrigeração do ambiente.

Ao decorrer da realização dos testes no ambiente, notou-se a necessidade de que houvesse um ajuste dos emissores leds infravermelhos (como posição dos leds, distância), então eram feitos correções para que a execução do sistema tivesse o mínimo de erros possíveis.

Os testes têm como objetivo verificar o funcionamento correto do sistema de monitoramento de ambiente. Ao decorrer dos testes pode-se notar uma diferença de comportamento dos diferentes ares-condicionados.

Segundo (TC et al., 2016), os ares-condicionados são um componente importante da infraestrutura de um *data center*, pois mantém a temperatura do ambiente em um nível adequado para o bom funcionamento dos equipamentos de TI. No entanto, eles também podem ser responsáveis por uma grande parte do consumo de energia de um *data center*. Os gastos de energia elétrica de ar-condicionado representam mais de 25% do total de gastos de energia de um *data center*.

Tabela 2 – Eficiência energética.

Ar Condicionado (BTUs)	Potência (watts)	Dias	Horas/dia	kWh/mês	Valor Sem Imposto
9.000	1.000	30	24	720	R\$ 453,60
12.000	1.300	30	24	936	R\$ 589,68
18.000	2.000	30	24	1440	R\$ 907,20
24.000	2.420	30	24	1742,4	R\$ 1097,71
30.000	3.000	30	24	2160	R\$ 1360,80
46.000	4.500	30	24	3240	R\$ 2041,20

Fonte: Elaborado pelo autor.

⁵ Disponível em <<https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/products/sku/80817/intel-core-i54460-processor-6m-cache-up-to-3-40-ghz/specifications.html>>

⁶ Disponível em <<https://ubuntu.com/download/desktop>>

⁷ Disponível em <<https://wiki.ubuntu.com/Kernel/Reference/stress-ng>>

A Tabela 2 apresenta os valores gastos em reais usando o ar condiciona por 24 horas por dia durante um mês. Os dados levam em consideração que os aparelhos têm a faixa de classificação da eficiência energética A, dentro de uma faixa de A até G, A sendo os mais eficientes e G os menos eficientes. Dito isso, os valores finais em reais podem variar para mais dependendo da faixa e do valor cobrado pelo kWh pela distribuidora de energia elétrica (INMETRO, 2022).

Suponhamos que um determinado *data center* tenha 10 equipamentos de ares-condicionados com capacidade de refrigeração de 30.000 BTUs que funcionam diretos 24 horas por dia sem nenhum gerenciamento de controle para determinar se é necessário todos estarem ligados ou não. Esse local gastaria em média R\$ 13.608,00 considerando a faixa de eficiência energética A e o valor do kWh a R\$ 0,63 (RGE, 2023).

Considerando a mesma situação anterior, mas agora aplicando o sistema de controle de ambiente, determinando as rotinas adequadas como por exemplo, desligar algum equipamento de refrigeração quando todos computadores estiverem com temperatura à baixo de 50°C. Após aplicar tais rotinas, suponhamos que a média de horas por dia de funcionamento dos ares-condicionados diminuiu para 18 horas/dia, no final do mesmo mês isso daria um valor de R\$ 10.206,00. A economia no final seria de 25%.

Diante do exposto, conclui-se que o sistema de controle de ambiente *data center* auxilia na redução dos gastos com energia elétrica e com esse controle pode-se garantir que os computadores trabalhem em um ambiente com temperatura ideal. Para que, assim, a vida útil da máquina se mantenha segundo os padrões do fabricante e caso haja qualquer alteração de temperatura fora dos padrões tanto no ambiente ou na máquina o administrador possa ser avisado e assim o problema possa ser solucionado o mais breve possível.

5 Considerações Finais

Com base no levantamento da do estado da arte, constatou-se que o desenvolvimento de sistemas de automação de ambientes *data center* é de grande importância. Notou-se também, na literatura, a preocupação dos autores em manter tais locais sempre monitorados para que qualquer problema que venham a ter sejam notificados o mais rápido possível para assim poderem sanados. Como visto no decorrer do trabalho, é imprescindível a relevância de gerenciar os equipamentos de tais locais para que possam durar o tempo de vida útil em plena capacidade operacional e gerir bem o consumo de energia elétrica para diminuir os custos ao máximo desses locais.

Durante o desenvolvimento do sistema proposto, foram sendo ajustadas e adaptadas as tecnologias mais adequadas para sua conclusão. Notou-se que, dependendo da posição e distância dos emissores de infravermelho em relação aos ares-condicionados dificultava o envio de comandos para o aparelho de refrigeração. Apesar dos problemas notados, o sistema foi capaz de cumprir o objetivo esperado.

Para trabalhos futuros, o sistema poderá ser desenvolvidos com sensores sem fio (*wireless*) e com isso, a não necessidade de usar fios ajudará em uma melhor e mais fácil instalação no ambiente dos sensores, principalmente para os sinais de infravermelho fundamentais para o controle dos ares-condicionados. Também considera-se a possibilidade do sistema ser controlado pelo servidor web, que traz novos recursos adição, edição e remoção de rotinas remotamente e um sistema de controle ainda mais centralizado.

Referências

- ABELLA, J.; VERA, X.; GONZALEZ, A. Penelope: The nbt-aware processor. p. 85–96, Dec 2007. ISSN 1072-4451. Citado na página 18.
- ASHTON, K. et al. That ‘internet of things’ thing. **RFID journal**, v. 22, n. 7, p. 97–114, 2009. Citado na página 19.
- BERKHOUT, F.; HERTIN, J. Impacts of information and communication technologies on environmental sustainability: Speculations and evidence. **Report to the OECD, Brighton**, v. 21, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 15.
- BHUVANA, B. et al. Mitigating the impact of nbt and pbt degradation. **Global Journal of Technology and Optimization**, 2016. Citado na página 17.
- BRASIL. **Atlas Energia no Brasil e no mundo**. [S.l.], 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>>. Acesso em: 07.06.2019. Citado na página 12.
- BRASIL. **Efeito Estufa e Aquecimento Global**. [S.l.], 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>>. Acesso em: 07.06.2019. Citado na página 15.
- CORBETTA, S.; FORNACIARI, W. Nbt mitigation in microprocessor designs. **Proceedings of the ACM Great Lakes Symposium on VLSI, GLSVLSI**, 05 2012. Citado na página 17.
- HULBERT, P. High throughput gate dielectric reliability testing: Digging out from the backlog. 2004. Citado na página 18.
- INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar/condicionadores-de-ar-indices-novos-idrs.pdf/@@download/file/condicionadores-de-ar-indices-novos-IDRS_2022-12-06.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2022. Citado na página 35.
- KIAMEHR, S.; AMOURI, A.; TAHOORI, M. B. Investigation of nbt and pbt induced aging in different lut implementations. p. 1–8, Dec 2011. Citado na página 17.
- MAHAPATRA, S.; KUMAR, P. B.; ALAM, M. A. Investigation and modeling of interface and bulk trap generation during negative bias temperature instability of p-mosfets. **IEEE Transactions on Electron Devices**, v. 51, n. 9, p. 1371–1379, Sep. 2004. ISSN 0018-9383. Citado na página 18.
- MURUGESAN, S. Harnessing green it: Principles and practices. **IT professional, IEEE**, v. 10, n. 1, p. 24–33, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 12, 13 e 15.
- PAKBAZNIA, E.; GHASEMAZAR, M.; PEDRAM, M. Temperature-aware dynamic resource provisioning in a power-optimized datacenter. p. 124–129, 2010. Citado na página 23.
- PUC-RIO, P. U. C. d. R. d. J. **A Linguagem de Programação**. 2022. Disponível em: <<http://www.lua.org/>>. Citado na página 28.

RGE, R. G. E. **Bandeiras Tarifárias**. 2023. Disponível em: <<https://www.rge-rs.com.br/bandeiras-tarifarias>>. Citado na página 35.

SANTOS, B. P. et al. Internet das coisas: da teoria à prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, v. 31, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 19.

SKADRON, K. et al. Temperature-aware microarchitecture: Extended discussion and results. **University of Virginia, Dept. of Computer Science, Technical Report CS-2003**, v. 8, 2003. Citado na página 18.

STORINO, S. N. **Method and apparatus for estimating remaining life of a product**. [S.l.]: Google Patents, 2004. US Patent 6,775,624. Citado na página 18.

STROUSTRUP, B. **The design and evolution of C++**. [S.l.]: Pearson Education India, 1994. Citado na página 28.

TC, A. et al. Data center power equipment thermal guidelines and best practices. **ASHRAE TC 9.9, ASHRAE, USA**, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 34.

TORĞUL, B.; ŞAĞBANŞUA, L.; BALO, F. Internet of things: a survey. **International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers**, v. 4, p. 104–110, 2016. Citado na página 19.

TRUŞCĂ, M. R. C. et al. Implementation of an additional monitoring device to prevent failures of the cooling systems. In: **Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 319–322. Citado na página 22.

TRUŞCĂ, M. R. C. et al. Environmental parameters control in datacenter. In: **2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–4. Citado na página 22.

VELOSO, A. F. et al. Prototipação com nodemcu para internet das coisas em smart cities: Uma pesquisa. iii escola regional de informática do piauí. **Livro Anais-Artigos e Minicursos**, v. 1, n. 1, p. 105–110, 2017. Citado na página 25.

VISWANATH, R. S.; WAKHARKAR, V. S. Thermal performance challenges from silicon to systems 1 thermal performance challenges from silicon to systems. In: . [S.l.: s.n.], 2000. Citado na página 17.

VISWANATHAN, H.; LEE, E. K.; POMPILI, D. Self-organizing sensing infrastructure for autonomic management of green datacenters. **IEEE Network**, v. 25, n. 4, p. 34–40, 2011. Citado na página 22.

Apêndices

APÊNDICE A – Código do Sistema de Monitoramento de Ambiente

Clone o repositório dos experimentos pelo link:

```
$ git clone https://github.com/robsonvasquez/Sistema_Monitoramento.git
```