



## **Contemporânea**

*Contemporary Journal*

Vol. 4 Nº. 6: p. 01-21, 2024

ISSN: 2447-0961

### **Artigo**

# **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA TELEMÉTRICO PARA CONVERSORES DE ENERGIA DAS ONDAS DE BAIXA POTÊNCIA UTILIZANDO O PROTOCOLO RAILBEE**

DEVELOPMENT OF A TELEMETRIC SYSTEM FOR LOW POWER WAVE ENERGY CONVERTERS USING THE RAILBEE PROTOCOL

DESARROLLO DE UN SISTEMA TELEMÉTRICO PARA CONVERTIDORES DE ENERGÍA DE LAS ONDAS DE BAJA POTENCIA UTILIZANDO EL PROTOCOLO RAILBEE

DOI: 10.56083/RCV4N6-046

Receipt of originals: 05/03/2024

Acceptance for publication: 05/24/2024

## **Izavan dos Santos Correia**

Graduado em Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Instituição: Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil

E-mail: isc1@discente.ifpe.edu.br

## **Steffano Xavier Pereira**

Técnico em Eletrônica

Instituição: Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil

E-mail: steffanoxpereira@gmail.com

## **Edson Jorge Silva de Carvalho Filho**

Técnico em Segurança do Trabalho

Instituição: Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Recife, Pernambuco, Brasil

E-mail: ejscf@discente.ifpe.edu.br

## **Rômulo César Carvalho de Araújo**

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Recife, Pernambuco, Brasil

E-mail: romuloaraujo@recife.ifpe.edu.br



## Henrique Correia Torres Santos

Doutor em Ciência da Computação

Instituição: Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Endereço: Recife, Pernambuco, Brasil

E-mail: henrique.santos@recife.ifpe.edu.br

**RESUMO:** O artigo viabiliza o monitoramento em tempo real e à distância de conversores de energia das ondas de baixa potência, através da utilização de redes de sensores sem fio e sistemas embarcados. O Sistema foi desenvolvido para captar novas informações sobre os Conversores de Energia das Ondas (WEC). O sistema faz uso do protocolo de comunicação ZigBee para receber e transmitir informações, possibilitando o monitoramento de sensores importantes como os sensores acelerômetro e giroscópio, tensão elétrica, corrente elétrica e temperatura. Esses sensores são integrados a um hardware denominado Módulo da Estação Fixa (MEF), composto por microcontrolador, shield de transmissão e rádio. O MEF envia os dados dos sensores via radiofrequência para o Módulo da Estação Base (MEB) ou para o Módulo da Estação Repetidora (MER), dependendo do alcance de transmissão. O MER atua como repetidor de sinal, retransmitindo os dados do MEF para o MEB, aumentando, assim, o alcance de transmissão dos dados. Em seguida, o MEB atua como um gateway, recebendo os dados via radiofrequência e convertendo-os para um protocolo TCP/IP, encaminhando-os ao Módulo da Estação Central (MEC) através de uma rede Ethernet. O MEC desempenha um papel essencial no sistema, sendo um software de monitoramento que tem como objetivo processar, armazenar, gerenciar e exibir as informações recebidas. As informações incluem acelerações angulares, velocidades angulares, tensão elétrica alternada, corrente elétrica e temperatura. Por meio dessas informações, os operadores podem tomar decisões de maneira eficiente ao monitorar o WEC através do Sistema Telemétrico, possibilitando um melhor controle e otimização da performance do dispositivo. Assim, o sistema contribui para a exploração eficiente da energia das ondas, impulsionando a adoção de tecnologias de conversão de energia sustentável e renovável.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistemas embarcados, sistema telemétrico, WEC, ZigBee.

**ABSTRACT:** The article enables real-time and remote monitoring of low-power wave energy converters, through the use of wireless sensor networks and embedded systems. The System was developed to capture new information about Wave Energy Converters (WEC). The system uses the ZigBee communication protocol to receive and transmit information, enabling the monitoring of important sensors such as accelerometer and gyroscope sensors, electrical voltage, electrical current and temperature. These sensors are integrated into hardware called Fixed Station Module (FSM), consisting



of a microcontroller, transmission shield and radio. The FSM sends sensor data via radio frequency to the Base Station Module (BSM) or the Repeater Station Module (RSM), depending on the transmission range. The RSM acts as a signal repeater, retransmitting data from the FSM to the BSM, thus increasing the data transmission range. Then, the BSM acts as a gateway, receiving data via radio frequency and converting it to a TCP/IP protocol, forwarding it to the Central Station Module (CSM) via an Ethernet network. CSM plays an essential role in the system, being monitoring software that aims to process, store, manage and display the information received. The information includes angular accelerations, angular velocities, alternating electrical voltage, electrical current and temperature. Using this information, operators can make decisions efficiently when monitoring the WEC through the Telemetry System, enabling better control and optimization of the device's performance. Thus, the system contributes to the efficient exploitation of wave energy, boosting the adoption of sustainable and renewable energy conversion technologies.

**KEYWORDS:** embedded systems, telemetry system, WEC, ZigBee.

**RESUMEN:** El artículo permite el monitoreo remoto y en tiempo real de convertidores de energía de las olas de baja potencia, mediante el uso de redes de sensores inalámbricos y sistemas integrados. El sistema fue desarrollado para capturar nueva información sobre los convertidores de energía de las olas (WEC). El sistema utiliza el protocolo de comunicación ZigBee para recibir y transmitir información, lo que permite monitorear sensores importantes como acelerómetros y giroscopios, voltaje eléctrico, corriente eléctrica y temperatura. Estos sensores están integrados en un hardware llamado Módulo de Estación Fija (MEF), que consta de un microcontrolador, escudo de transmisión y radio. El MEF envía datos del sensor por radiofrecuencia al Módulo de estación base (MEB) o al Módulo de estación repetidora (MER), según el rango de transmisión. El MER actúa como repetidor de señal, retransmitiendo datos desde el MEF al MEB, aumentando así el rango de transmisión de datos. Luego, la MEB actúa como puerta de enlace, recibe datos vía radiofrecuencia y los convierte a un protocolo TCP/IP, reenviándolos al Módulo de Estación Central (MEC) a través de una red Ethernet. MEC juega un papel esencial en el sistema, siendo un software de monitoreo que tiene como objetivo procesar, almacenar, gestionar y visualizar la información recibida. La información incluye aceleraciones angulares, velocidades angulares, tensión eléctrica alterna, corriente eléctrica y temperatura. Utilizando esta información, los operadores pueden tomar decisiones de manera eficiente al monitorear el WEC a través del Sistema de Telemetría, permitiendo un mejor control y optimización del rendimiento del dispositivo. De esta forma, el sistema contribuye a la



explotación eficiente de la energía de las olas, impulsando la adopción de tecnologías de conversión de energía sostenibles y renovables.

**PALABRAS CLAVE:** sistemas embebidos, sistema de telemetria, WEC, ZigBee.



Artigo está licenciado sob forma de uma licença  
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

## 1. Introdução

A Indústria de produção de energia elétrica no mundo sempre teve como fonte principal de obtenção de energia elétrica a utilização de combustíveis fósseis para a geração de energia através da combustão desses recursos não renováveis.. Nos anos 2000, essa fonte de energia representava 86,6% da produção da matriz energética. Em 2013, ocorreu uma pequena redução, porém ainda representavam 86,3% (BP, 2014). Visto que essa forma de geração de energia elétrica é extremamente poluente ao meio ambiente e prejudicial à saúde humana, surgiu a necessidade de se pesquisar e estudar novas fontes de geração que sejam renováveis e limpas, como por exemplo, energia solar, energia eólica, energia da biomassa, energia oceânica, entre outras.

A Energia oceânica é um excelente exemplo de fonte de energia renovável. De acordo com Thorpe (1999), a disponibilidade total de energia é de 2 TW. Além disso, a Wavemill Energy Corp. (2011) afirma que a quantidade de energia disponível por metro quadrado é de 15 a 20 vezes mais do que a energia solar ou eólica. Dessa forma um país com as dimensões litorâneas do Brasil que, segundo Tessler e Goya (2005), o litoral possui uma extensão de cerca de 7.300 km tornando o Brasil um potencial produtor de energia elétrica através do uso de conversores de energia das ondas.



O *Wave Energy Converter* (WEC) se trata de um conversor de energia das ondas de baixa potência, seu princípio de funcionamento surge a partir da ideia de capturar a energia cinética ou potencial das ondas e convertê-la em energia elétrica por meio de um conversor apropriado. O conversor de energia das ondas abordado nesse artigo funciona por meio de um braço mecânico que fica perpendicular a uma balsa e possui uma boia na ponta, à medida que as ondas do mar passam pelo equipamento a boia levanta e abaixa o braço mecânico, o braço por sua vez está conectado a um eixo que faz um conjunto de engrenagens girarem em um mesmo sentido, essas engrenagens estão ligadas ao eixo do motor e na medida em que elas giram também fazem o motor girar e dessa forma o equipamento produz energia elétrica.

Portanto esse artigo se propõe a desenvolver um sistema telemétrico autônomo e dinâmico que vai realizar o monitoramento remoto e em tempo real do WEC (*Telemetric System of a Wave Energy Converter – TSWEC*) através redes de sensores sem fio e sistemas embarcados. O sistema vai coletar dados através de sensores acoplados no equipamento, esses dados são enviados via radiofrequência, por meio de um protocolo de comunicação com padrão internacional regulamentado pelo Instituto de Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas (IEEE) ZigBee 802.15.4, para uma central de monitoramento. Essa central vai receber os dados e em seguida processar, armazenar, gerenciar e exibir as informações em um painel de visualização e controle.

## 2. Referencial Teórico

Na realização desse artigo as seguintes tecnologias foram estudadas e aplicadas com o objetivo de desenvolver o hardware e o software do sistema. Para o hardware foram: Plataforma Arduino, Seeeduino Mega, ZigBee, XBee, DS18B20, ZMPT101B, SCT-013 e MPU-6050. Para o software foram: Java,



Kotlin, Typescript, SQL, PostgreSQL, MongoDB, Docker, Apache kafka, Websocket e React.

## 2.1 Plataforma Arduino

A plataforma Arduino é uma plataforma de código-aberto focada em eletrônica e prototipagem, baseada em Hardware e Software, servindo como base para o desenvolvimento e aplicação dos Módulos do TSWEC. Nayyar e Puri (2016) afirmam que o Arduino é capaz de criar interfaces para diferentes periféricos, sensores e dispositivos de comunicação sem fio, sendo constituído por um microcontrolador programável e possui o próprio ambiente de desenvolvimento integrado (*Integrated Development Environment - IDE*).

Essas características da plataforma e sua variedade de placas de desenvolvimento tornam o desenvolvimento do módulo mais flexível, permitindo ao criador definir padrões de envio de dados e possibilitando alterações de software de forma simples quando necessário.

O Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino é o software central da plataforma, onde os dispositivos conectados podem ser visualizados de forma clara.

Essa IDE utiliza uma linguagem de programação própria, baseada em C e C++, tornando o processo de criação de scripts para o hardware simples e seguro utilizando a linguagem Arduino. Com essa abordagem amigável e acessível, tanto iniciantes quanto desenvolvedores experientes podem explorar todo o potencial da plataforma e criar projetos eletrônicos com facilidade. A IDE é constantemente atualizada e aprimorada pela comunidade Arduino, garantindo um ambiente de programação estável e confiável para os usuários.



## 2.2 Seeduo Mega

O Seeduo Mega (Figura 1) é um microcontrolador desenvolvido pela SeedStudio com base no Arduino Mega. Suas configurações de hardware incluem um processador ATmega2560, 256 KB de memória flash e 8 KB de SRAM. Ele oferece uma ampla gama de conexões elétricas, incluindo até 70 portas digitais (E/S), 16 entradas analógicas, 14 PWM (*Pulse Width Modulation*) e 4 portas seriais de hardware (SeedStudio, 2022).

Figura 1: Microcontrolador Seeduo Mega.



Fonte: adaptado de [seedstudio.com/wiki](http://seedstudio.com/wiki)

O microcontrolador tem a função de captar e processar dados dos transdutores sensores, organizá-los, empacotá-los e enviá-los para o rádio XBee. A transmissão ocorre pelas portas de transmissão (TX) e recepção (RX) do Seeduo Mega usando o protocolo de comunicação serial UART. Esse processo possibilita o envio dos dados analógicos e digitais recebidos para o TSWEC.

O software que controla o dispositivo é desenvolvido no IDE do Arduino utilizando a linguagem de programação Arduino. Esse software é integrado no microcontrolador e é responsável por instruir o Módulo da Estação Fixa a executar suas tarefas de maneira confiável e eficiente.



## 2.3 Protocolo ZigBee

O módulo XBee oferece duas formas distintas de transmissão de dados, com um limite de pacote de 256 Kb. A primeira forma é o modo *Application Transparent* (AT), que envia cada byte de informação individualmente. A segunda forma é o modo *Application Programming Interface* (API) que constrói um pacote mais íntegro e seguro para envio, dividido em "frames".

O pacote no modo API começa com um byte chamado "*delimiter*" ou "*Starter Byte*", contendo o valor hexadecimal de 0x7E, que marca o início do pacote. Em seguida, temos dois bytes chamados "*length*", que informam o tamanho total do pacote. O "*XBee address*" é um valor que identifica cada módulo XBee individualmente. Há também um byte de "*API frame type*", que indica ao XBee se os dados serão enviados pelas portas seriais, lidos dos pinos ou comandos para dispositivos AT. O campo "*payload*" é uma sequência de bytes de tamanho indefinido que armazena os dados a serem enviados. Por fim, há um byte de "*checksum*", que marca o fim do pacote e assegura sua integridade.

Toda a estrutura e a ordem dos frames são campos obrigatórios e característicos do modo API, contendo uma série de identificadores e verificadores definidos de acordo com o padrão especificado pelo módulo XBee. O único frame em que temos controle é o "*payload*", onde é possível definir regras e estabelecer uma estrutura mais sólida para o formato, ordem e outros fatores relacionados à montagem do pacote de dados a ser enviado através do protocolo ZigBee.

## 2.4 XBee

O Módulo XBee S2C-PRO (Figura 2) é um dispositivo que realiza comunicação sem fio por meio de ondas de rádio, proporcionando vantagens como consumo reduzido de energia, instalação de baixo custo, transmissão





de dados confiáveis e facilidade de implantação na rede de dispositivos. Ele utiliza o protocolo padrão ZigBee IEEE 802.15.4, desenvolvido pelo Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE) e pela ZigBee Alliance. O módulo XBee é capaz de alcançar distâncias de até uma milha em visada direta (DIGI, 2021) por meio de ondas de radiofrequência.

Figura 2: Módulo XBee S2C-PRO



Fonte: digi.com

A frequência operacional do XBee, seguindo o padrão internacional Industrial, *Scientific and Medical* (ISM), é de 2,4 GHz no Brasil. Os módulos XBee podem ser configurados como dispositivos finais (*end device*), roteadores (*router*) e coordenadores (*coordinator*). O protocolo ZigBee oferece três topologias de rede distintas: malha (*mesh*), estrela (*star*) e cluster-árvore (*cluster-tree*).

A topologia em malha é a escolhida no TSWEC, pois proporciona uma distribuição eficiente dos módulos XBee, permitindo a criação de uma rede de dispositivos independentes. Isso significa que, caso um dispositivo apresente algum problema, a rede permanece intacta e encontra rotas alternativas de transmissão.

O protocolo de comunicação ZigBee e o módulo XBee S2C PRO foram utilizados no sistema TSWEC para realizar o empacotamento, codificação, envio, recebimento e decodificação dos dados transmitidos pelos módulos do MEF, MER e MEB até a MEC. A utilização dessa tecnologia foi fundamental



para garantir a integridade, segurança e confiabilidade dos dados coletados, os quais são exibidos na central de monitoramento.

## 2.5 DS18B20

O DS18B20 (Figura 3) é um sensor de temperatura digital produzido pela *Maxim Integrated* que utiliza o protocolo *One-Wire* para comunicação e tem uma precisão de  $0,5^{\circ}\text{C}$  na faixa de temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ . Além disso, é capaz de operar em alimentações de  $3,0\text{V}$  a  $5,5\text{V}$  e tem um encapsulamento à prova d'água, tornando-o ideal para uso em ambientes úmidos.

Figura 3: Módulo sensor de temperatura DS18B20



Fonte: [www.robocore.net](http://www.robocore.net)

O equipamento que está sendo monitorado possui dez unidades desses sensores estrategicamente instalados. Essa configuração permite a medição das variações de temperatura em pontos críticos, possibilitando tomadas de decisão fundamentadas para garantir um bom desempenho do equipamento e seu devido funcionamento.

## 2.6 ZMPT101B

O sensor ZMPT101B (Figura 4) é utilizado para converter sinais de tensão alternada em sinais de tensão contínua, permitindo a medição de tensão CA em um circuito através de um microcontrolador ou outro dispositivo eletrônico. Ele é comumente empregado em projetos de



automação residencial e industrial, sistemas de monitoramento e controle de energia elétrica, entre outras aplicações.

Figura 4: Módulo sensor de tensão alternada ZMPT101B



Fonte: [www.msseletronica.com.br](http://www.msseletronica.com.br)

Foram instaladas seis unidades do módulo ZMPT101B em pontos estratégicos do WEC, com o objetivo de medir a tensão gerada pelo equipamento. Essa abordagem possibilita o monitoramento da tensão elétrica e da potência elétrica produzida pelo WEC.

## 2.7 SCT-013

O Sensor SCT-013 (Figura 5) é um sensor de corrente não invasivo que permite medir a corrente elétrica em um circuito sem interromper a fiação. Ele é composto por um núcleo toroidal que produz um sinal de tensão proporcional à corrente elétrica medida. Ele pode medir correntes alternadas de até 100A e possui um conector padrão para fácil conexão com outros dispositivos eletrônicos.

Figura 5: Módulo sensor de corrente SCT-013



Fonte: [www.robocore.net](http://www.robocore.net)

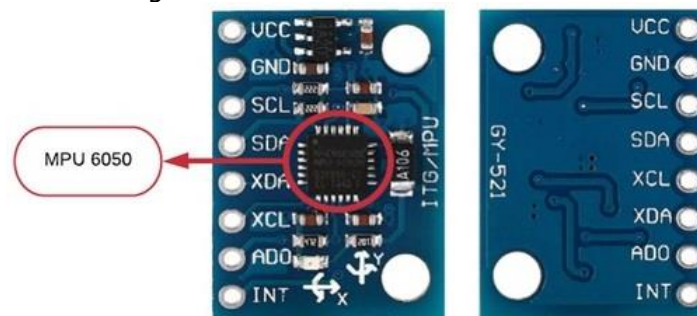


Foram instaladas seis unidades do módulo SCT-13 em pontos estratégicos do WEC, com o objetivo de medir a corrente gerada pelo equipamento. Essa abordagem possibilita o monitoramento da corrente elétrica e da potência elétrica produzida pelo WEC.

## 2.8 MPU-6050

A placa GY-521 (Figura 6) é o hardware responsável por obter as informações de meio inercial no WEC.

Figura 6: Módulo sensor MPU-6050



Fonte: Adaptada de jutronix.com

Essa placa incorpora um sensor de temperatura e o MPU-6050, um chip de silício composto por dois sensores: um acelerômetro de 16 bits com opções de range de 2g, 4g, 8g ou 16g (onde "g-force" corresponde à constante universal da gravitação) e um giroscópio de 16 bits com range de 250° a 2000°/seg (onde "°/seg" representa a velocidade angular do giroscópio) (INVENSENSE INC., 2013).

Sendo projetado para circuitos elétricos, o dispositivo apresenta um baixo consumo de energia, oferece uma ampla gama de aplicações devido ao seu baixo custo e, graças ao protocolo de comunicação I2C, permite uma fácil conexão com outras tecnologias. Dessa forma, esse módulo foi instalado no WEC para permitir calcular informações como inclinação do braço mecânico, velocidade angular, aceleração angular e vibração.



## 2.9 Software do Módulo da Estação Central

O Software do MEC foi desenvolvido para processar, armazenar, gerenciar e exibir informações em tempo real recebidas através do TSWEC. Neste projeto, diversas tecnologias de desenvolvimento de software foram estudadas e aplicadas, incluindo Java, Kotlin, Typescript, SQL, PostgreSQL, MongoDB, Docker, Apache Kafka, Websocket e React.

Na construção do *back-end*, foram empregados Java e Kotlin para desenvolver o módulo de recepção de pacotes. Esse módulo funciona através de sockets, que escutam o MEB conectado à máquina, permitindo a correta recepção e tratamento das informações para armazenamento no banco de dados. Foram selecionados o MongoDB como o banco de dados principal para armazenar os dados, enquanto o PostgreSQL foi escolhido para guardar informações de configurações sobre os módulos do sistema e os tipos de pacotes de dados.

O uso do Docker mostrou-se importante para facilitar a migração do sistema para outras máquinas, garantindo que todo o ambiente esteja prontamente configurado para a operação do software. O Apache Kafka, serviço de fila adotado, é responsável por armazenar os pacotes por ordem de chegada, evitando perda de informações no sistema.

Para garantir atualizações em tempo real no front-end, o Websocket foi adotado como um *middleware* entre o *back-end* e o *front-end*, possibilitando a visualização dinâmica dos dados. No desenvolvimento do painel de monitoramento, foram utilizados Typescript e React, garantindo uma interface interativa e amigável para os usuários. O resultado é um software que atende às necessidades de processamento e monitoramento das informações do TSWEC.



### 3. Metodologia

#### 3.1 Telemetric System of a Wave Energy Converter – TSWEC

O TSWEC é composto por quatro módulos, são eles: Módulo da Estação Fixa (MEF), Módulo da Estação Repetidora (MER), Módulo da Estação Base (MEB) e Módulo da Estação Central (MEC). Através da Figura 7 é possível compreender melhor a arquitetura e funcionamento do Sistema.

Figura 7: Representação do TSWEC.



Fonte: Elaborado pelos autores

O Módulo da Estação Fixa, ilustrado na Figura 7, é instalado na balsa e desempenha um papel essencial como um nó final que se conecta aos sensores, permitindo o monitoramento das condições do WEC. Esses sensores coletam dados como temperatura, tensão, corrente, aceleração angular e velocidade angular, possibilitando um acompanhamento remoto e em tempo real do funcionamento do WEC.

A arquitetura do MEF pode ser resumida em três principais componentes: um microcontrolador, um *shield* de transmissão e um transmissor de radiofrequência. Os sensores têm a responsabilidade de captar os dados do WEC, fornecendo informações sobre o seu desempenho. Em seguida, o microcontrolador entra em ação, realizando o processamento



e a codificação dos dados obtidos pelos sensores. Essa etapa é crucial para garantir que os dados estejam devidamente preparados para a transmissão.

Por fim, o rádio assume o papel de enviar os sinais através da radiodifusão. Através dessa comunicação eficiente, os dados são transmitidos para o Módulo da Estação Base, possibilitando que os operadores ou responsáveis recebam e interpretem os dados remotamente.

Atualmente, o sistema opera com quatro Módulos da Estação Fixa conectados aos sensores do WEC. Esses MEF são distribuídos da seguinte forma: dois deles são dedicados aos sensores de tensão e corrente, um para os sensores de temperatura e outro para os sensores de aceleração angular e velocidade angular. Essa configuração permite a visualização dos dados provenientes de múltiplos sensores, incluindo: 6 sensores de tensão, 6 sensores de corrente, 10 sensores de temperatura, 3 eixos de velocidade angular (X, Y e Z) e 3 eixos de aceleração angular (X, Y e Z).

Com esses dados à disposição, os operadores têm acesso a informações importantes para a manutenção, otimização e tomada de decisões estratégicas relacionadas à operação do sistema de conversão de energia das ondas.

Os Módulos das Estações Roteadoras são instalados ao longo do percurso de transmissão dos dados com a finalidade de aumentar o alcance de envio e recebimento dos dados. Sua construção é através de um dispositivo configurado como roteador que atua como um transceptor, recebendo os sinais via radiofrequência do MEF e os retransmite para o MEB mais próximo, apenas atuando caso não seja possível estabelecer uma conexão direta entre o MEF e o MEB.

O Módulo da Estação Base fica localizado em um local com uma infraestrutura para redes ethernet, sua arquitetura é constituída basicamente por um dispositivo coordenador que recebe os sinais de rádio enviados pela rede de sensores sem fio e por um microcontrolador que atua como um *gateway* com a função de decodificar os dados recebidos por meio



do protocolo ZigBee e codificar para o protocolo *TCP/IP*, e por fim uma controladora ethernet que cria a interface responsável pela atribuição de um Endereço IP para cada MEB e é interligado à rede local, enviando os dados para o MEC através de uma rede de fibra óptica operacional.

Por fim, o Módulo da Estação Central se localiza na central de monitoramento, e é constituída por uma máquina que possui o software de monitoramento, desenvolvido pelo grupo de pesquisa, instalado. O MEC recebe os dados advindos do MEB por meio de uma rede ethernet. Por fim, faz o processamento dos dados, os armazena em um banco de dados e os exibe para os operadores e responsáveis na central de monitoramento.

#### **4. Resultados e Discussões**

Para executar este artigo, foram conduzidos diversos estudos e pesquisas teóricas abordando os temas fundamentais do projeto, bem como as tecnologias associadas, como sensores acelerômetro, giroscópio, temperatura, tensão e corrente. Também foram realizados estudos sobre tecnologias de desenvolvimento de software, como Java, Kotlin, Typescript, SQL, PostgreSQL, MongoDB, Docker, Apache Kafka, Websocket e React.

Além disso, o grupo de pesquisa dedicou-se a explorar outras tecnologias relevantes para o projeto, tais como Sistemas Embarcados, Plataforma Arduino, Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) e o protocolo de comunicação ZigBee. Essa abordagem permitiu a realização de uma revisão bibliográfica completa e abrangente, enriquecendo cientificamente o projeto de pesquisa.

O Módulo da Estação Fixa (Figura 8) foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa com o propósito de coletar informações dos sensores instalados no WEC. Em seguida, ele processa, empacota e envia essas informações via radiofrequência para o Módulo da Estação Base ou Módulo da Estação Roteadora, dependendo do alcance de transmissão.





Figura 8: Módulo da Estação Fixa



Fonte: Elaborado pelos autores.

O MEB e o MER já haviam sido desenvolvidos pelo grupo de pesquisa e foram adaptados para serem aplicados no TSWEC. No decorrer deste artigo, o MEF foi desenvolvido para completar o conjunto de módulos necessários para o funcionamento do sistema.

O Módulo da Estação Fixa é composto por três elementos essenciais: um Seeeduino Mega, responsável pelo processamento dos dados provenientes dos sensores e pelo empacotamento desses dados; um shield de transmissão e sinalização, desenvolvido pelo grupo de pesquisa nos laboratórios do IFPE; e, por fim, um XBee S2C PRO utilizado para a transmissão dos dados via radiofrequência.

O TSWEC atualmente possui quatro MEF desenvolvidos e instalados, cada um com uma função específica. O primeiro MEF é responsável por captar os dez sensores de temperatura. O segundo MEF captura as três acelerações angulares (X, Y e Z) e as três velocidades angulares (X, Y e Z). Por fim, há dois MEF destinados a captar os seis sensores de tensão e seis sensores de corrente.

O Módulo da Estação Central foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa para processar, armazenar, gerenciar e exibir informações recebidas em um painel de monitoramento em tempo real. O MEC foi projetado para se comunicar com o Módulo da Estação Base por meio de um protocolo *TCP/IP*,



onde cada MEB é identificado pelo seu IP e Porta, possibilitando uma integração eficiente no sistema.

Foi concluída a construção do *back-end*, denominado módulo receptor, responsável pela recepção, verificação de integridade, armazenamento e decodificação dos pacotes. Além disso, foi desenvolvido o módulo Websocket para atualização em tempo real dos dados. Por fim, o *front-end*, representado pelo painel de monitoramento (Figura 9), permite a seleção e visualização das informações de forma intuitiva.

Figura 9: Painel de monitoramento do TSWEC

TEMPERATURE 1	TEMPERATURE 2	TEMPERATURE 3	TEMPERATURE 4	TEMPERATURE 5
24.50	26.05	24.52	26.02	24.01

Fonte: Elaborado pelos autores.

De modo geral, o painel é versátil e pode ser usado para exibir os dados de qualquer WEC conectado ao TSWEC. Sua tela principal é composta por dois elementos adaptáveis às preferências do operador: a exibição dos módulos e o menu lateral, conforme mostrado na Figura 10.

A tela de exibição dos módulos organiza automaticamente os dispositivos monitorados, apresentando os dados obtidos em cada canal do sistema. A visualização dos módulos e seus canais pode ser personalizada através do painel lateral.

Figura 10: Painel de monitoramento do TSWEC com painel lateral aberto

Dispositivo 1	TEMPERATURE 1	TEMPERATURE 2	TEMPERATURE 5
	24.50	26.05	24.01

Fonte: Elaborado pelos autores.



O painel lateral, representado na Figura 10, é a principal ferramenta para controlar a exibição do conteúdo na interface. O operador pode ajustar a exibição dos dados conforme as necessidades da operação, maximizando a área de visualização. Após a parametrização, o painel pode ser recolhido para otimizar o espaço na tela.

Com a elaboração e desenvolvimento do TSWEC, tornou-se possível monitorar, em tempo real, informações como temperatura, tensão elétrica, corrente elétrica, aceleração angular e velocidade angular por meio da integração dos módulos no sistema.

## **5. Conclusão**

O Sistema Telemétrico de Conversores de Energia das Ondas (TSWEC) representa uma tecnologia de caráter inovador, conectando o WEC a uma rede de telemetria ZigBee para compartilhar informações em tempo real através de redes de sensores sem fio e sistemas embarcados. Sua autonomia e adaptabilidade permitem a integração não intrusiva com a estrutura existente para monitorar o WEC no mar.

O TSWEC se destaca pela diferença em relação às tecnologias e sistemas atuais, sendo desenvolvido nacionalmente e apresentando um custo acessível, o que cria um vasto potencial de mercado. Os estudos, pesquisas e testes comprovam que o TSWEC é capaz de captar informações importantes, como tensão, corrente, temperatura, aceleração angular e velocidade angular, em tempo real. Esses dados capacitam os usuários do sistema a tomar ações mais eficientes e rápidas para garantir o correto funcionamento do WEC, resultando em melhor desempenho e qualidade.

Além disso, a aplicação do TSWEC abre espaço para a incorporação de novas tecnologias no WEC, tornando o equipamento mais preciso e robusto em suas operações. Como resultado, o TSWEC é significativo no avanço da tecnologia de conversão de energia das ondas, contribuindo para o



desenvolvimento do setor e possibilitando uma abordagem mais sustentável e eficiente na exploração desse recurso natural promissor.



## Referências

BHATTACHARYYA, R. **Dynamics of Marine Vehicles**. New-York: Wiley-Interscience, 1978. BP. **BP Statistical Review of World Energy**.

Londres: BP, 2014. Disponível em: [http://www.bp.com/content/dam/bp-country/de\\_de/PDFs/brochures/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_de/PDFs/brochures/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf). Acesso em: 27 fev. 2023.

DIGI. Digi International Inc., 2020. **Digi XBee and XBee-PRO ZigBee RF Modules**. Disponível em: <https://www.digi.com/products/embedded-systems/rf-modules/2-4-ghz-modules/xbee-zigbee#specifications>. Acesso em: 03 ago. 2023.

EEED. Seeed Technology Co. Ltd. **Seeeduino Mega**. Disponível em: [http://wiki.seeedstudio.com/Seeeduino\\_Mega/](http://wiki.seeedstudio.com/Seeeduino_Mega/). Acesso em: 03 ago. 2023.

INVENSENSE INC. (California). **MPU-6000 and MPU6050 Product Specification Revision 3.4**. Sunnyvale: Invensense Inc., 2013. 52 f. Disponível em: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. Acesso em: 03 de ago. 2023.

NAYYAR, A.; Puri, V. A review of Arduino board's, Lilypad's & Arduino shields. **2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)**, New Delhi, pp. 1485-1492, Mar. 2016, Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7724514/>. Acesso em: 03 ago. 2023.

TESSLER, M.; GOYA, S. **Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro**. Revista do Departamento de Geografia, v. 17, p. 11-23, 2005. Acesso em: 27 fev. 2023.

THORPE, T. W. **A brief review of wave energy**. Energy Technology Support Unit (ETSU), 1999. Acesso em: 27 fev. 2023.

WAVEMILL ENERGY CORP. **Electric Power from Ocean Waves**. Disponível em: <http://www.wavemill.com>. Acesso em: 27 fev. 2023.