



**INSTITUTO
FEDERAL**

Piauí

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS ANGICAL
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

JORGE LUIS BARBOSA CARVALHO

**A FÍSICA DA CONVERSÃO DA ENERGIA DAS ONDAS E DAS MARÉS E SUAS
IMPLICAÇÕES NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE SUSTENTÁVEL**

ANGICAL DO PIAUÍ

2026

JORGE LUIS BARBOSA CARVALHO

A FÍSICA DA CONVERSÃO DA ENERGIA DAS ONDAS E DAS MARÉS E SUAS
IMPLICAÇÕES NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE SUSTENTÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Angical.

Orientador: Prof^a. Me. Denisfran Cardoso Soares.

Coorientador: Me. Stanley Frota Soares de Oliveira.

A FÍSICA DA CONVERSÃO DA ENERGIA DAS ONDAS E DAS MARÉS E SUAS IMPLICAÇÕES NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE SUSTENTÁVEL

Jorge Luis Barbosa Carvalho¹
Denisfran Cardoso Soares²
Stanley Frota Soares de Oliveira³

RESUMO

Este trabalho analisa a conversão da energia das ondas e das marés em eletricidade sustentável, destacando sua relevância como alternativa limpa para diversificação da matriz energética e mitigação das emissões de gases de efeito estufa. A pesquisa parte da integração entre fundamentos teóricos da Física e uma abordagem experimental, buscando compreender como os movimentos naturais do oceano podem ser aproveitados de forma eficiente e didática. No desenvolvimento do estudo, adotou-se uma metodologia de caráter misto, envolvendo revisão bibliográfica, análise descritiva e a construção de um protótipo maremotriz em escala reduzida. O embasamento teórico contempla conceitos de ondulatória, mecânica dos fluidos e eletromagnetismo, com ênfase na Lei de Faraday–Lenz. Experimentalmente, o movimento oscilatório da água provoca o deslocamento de um ímã acoplado a uma bobina, gerando variação do fluxo magnético e indução de tensão elétrica. Os testes indicaram a geração de tensões entre aproximadamente 0,1 milivolts e $\pm 2,4$ milivolts (mV), valores compatíveis com o modelo proposto. A análise matemática das ondas, considerando altura e período, reforça o potencial energético do fenômeno e sua previsibilidade. Conclui-se que, apesar das limitações práticas e da baixa potência obtida, o protótipo cumpre importante função científica e educativa, validando princípios físicos fundamentais. O estudo evidencia que a energia das ondas e das marés apresenta elevado potencial como fonte renovável, desde que acompanhada por avanços tecnológicos, pesquisas aplicadas e avaliações criteriosas de seus impactos ambientais, sociais e econômicos.

Palavras-chave: energia maremotriz; indução eletromagnética; mecânica dos fluidos; protótipo experimental; física aplicada.

ABSTRACT

This study analyzes the conversion of wave and tidal energy into sustainable electricity, highlighting its relevance as a clean alternative for diversifying the energy matrix and mitigating greenhouse gas emissions. The research is based on the integration of theoretical foundations of Physics with an experimental approach, aiming to understand how the natural movements of the ocean can be harnessed efficiently and didactically. In the development of the study, a mixed-method methodology was adopted, involving a literature review, descriptive analysis, and the construction of a

¹ Graduando em Licenciatura em Física, Campus Angical, caang.2021119lfis0301@aluno.ifpi.edu.br;

² Prof. Me. Denisfran Cardoso Soares. Instituto federal – PI, denisfrancardoso@ifpi.edu.br;

³ Me. Stanley Frota Soares de Oliveira. Instituto federal – PI, stanleyfrota@gmail.com.

reduced-scale tidal prototype. The theoretical framework encompasses concepts of wave theory, fluid mechanics, and electromagnetism, with emphasis on Faraday–Lenz’s Law. Experimentally, the oscillatory movement of water causes the displacement of a magnet coupled to a coil, generating variation in the magnetic flux and inducing electrical voltage. The tests indicated the generation of voltages ranging from approximately 0,1 millivolts to $\pm 2,4$ millivolts (mV), values consistent with the proposed model. The mathematical analysis of waves, considering height and period, reinforces the energetic potential of the phenomenon and its predictability. It is concluded that, despite practical limitations and the low power obtained, the prototype fulfills an important scientific and educational role by validating fundamental physical principles. The study demonstrates that wave and tidal energy present high potential as renewable energy sources, provided that they are accompanied by technological advances, applied research, and careful assessments of their environmental, social, and economic impacts.

Keywords: tidal energy; electromagnetic induction; fluid mechanics; experimental prototype; applied physics.

Data de aprovação: 27/02/2026

1 INTRODUÇÃO

Este estudo tem como objetivo apresentar a energia das ondas e das marés como uma alternativa limpa e promissora para a geração de eletricidade. A proposta central é mostrar como os movimentos naturais do mar, muitas vezes vistos apenas como parte da paisagem, podem se transformar em aliados importantes na busca por fontes sustentáveis de energia. A pesquisa ganha relevância ao propor uma abordagem prática por meio de um experimento baseado na indução eletromagnética.

Para o desenvolvimento deste trabalho, adotou-se uma metodologia de caráter misto, combinando aspectos teóricos e práticos. Foram realizadas algumas estratégias tais como revisão bibliográfica, análise descritiva, construção de um protótipo experimental, análise desse resultado e uma avaliação dos resultados obtidos. O foco recai sobre os princípios físicos que explicam o comportamento das ondas e das marés, com ênfase no fenômeno do magnetismo. De forma simplificada, o movimento das ondas desloca ímãs instalados em dispositivos específicos, gerando eletricidade pela variação do campo magnético. Esse processo, conhecido como indução eletromagnética, constitui o fundamento que viabiliza a conversão da energia cinética da água em energia elétrica, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade e inovação tecnológica.

A pesquisa busca ir além da teoria, propondo um experimento funcional que simula diferentes intensidades de ondas e demonstra, de forma prática, como a energia mecânica do mar pode ser transformada em eletricidade. Assim, o projeto contribui para tornar o tema mais acessível a estudantes e ao público em geral. Nesse contexto, coloca-se a seguinte questão central: como os princípios físicos da conversão da energia das ondas e das marés podem ser compreendidos e descritos de forma a avaliar suas previsões na geração sustentável de energia elétrica, por meio de um experimento? Além de seu caráter educativo, a proposta apresenta-se como uma alternativa sustentável, ao utilizar uma fonte renovável capaz de contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Destaca-se que o estudo parte do pressuposto de que o desenvolvimento do experimento, com medições realizadas por meio de voltímetro em escala reduzida, é viável e aplicável. Dessa forma, a iniciativa demonstra potencial como solução energética alternativa, promovendo um futuro mais limpo, equilibrado e energeticamente consciente.

Sob essa perspectiva, o estudo da conversão da energia das ondas e das marés e suas implicações na geração de eletricidade sustentável parte da análise do movimento das ondas, destacando o papel do magnetismo nesse processo. A questão central é compreender como integrar um experimento físico ao processo de aprendizagem, conectando teoria e prática por meio da experimentação. Essa abordagem torna o estudo mais significativo, aproximando o conteúdo da realidade e incentivando a construção ativa do conhecimento. Além disso, permite que os princípios envolvidos sejam descritos, medidos e avaliados, verificando, na prática, suas previsões na geração de energia elétrica sustentável.

Esse modelo de energia maremotriz transforma a energia mecânica das ondas em eletricidade por meio de dispositivos instalados estrategicamente próximos a quebra-mares, afastados da costa ou ao longo de rotas de navegação. Para isso, utiliza-se um protótipo capaz de demonstrar uma alternativa viável mais do que comprovar sua eficiência, a proposta reforça o potencial da tecnologia como solução limpa e responsável para a matriz energética, ao mesmo tempo em que possibilita analisar e comprovar, de forma prática, a viabilidade dos princípios físicos que a sustentam para reduzir as emissões de gases do efeito estufa na produção de energia.

Justifica-se a realização desta pesquisa pela necessidade de ampliar a aplicação dos conhecimentos de Física, apresentando a energia das ondas e das marés como alternativa limpa e promissora para a geração de eletricidade, utilizando

um protótipo experimental como recurso qualitativo para melhor compreensão dos princípios que regem os movimentos das ondas. Os autores Moraes (2019), Cruz e Sarmiento (2004), Costa e Gomes (2024) e Oliveira e das Neves Gomes (2018) direciona o estudo ao trazer contribuições para o entendimento dos conceitos físicos envolvidos nas ondulações e variações geradas a partir do movimento das ondas. O estudo da Física a partir desse fenômeno contribui para compreender a formação de uma diferença de potencial e, conseqüentemente, de uma corrente elétrica, graças ao fenômeno da indução eletromagnética, um dos pilares da Física moderna. De forma geral, o trabalho demonstra que é possível unir teoria e prática para compreender, de maneira acessível, o funcionamento da energia renovável proveniente das ondas e das marés.

2 CONVERSÃO DA ENERGIA DAS ONDAS E DAS MARÉS: ASPECTOS FÍSICOS E SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O aproveitamento do movimento das ondas e das marés como fonte limpa e renovável de energia elétrica fundamenta-se na compreensão objetiva dos princípios físicos que possibilitam essa conversão, sendo demonstrada, por meio de um experimento prático na aplicação nano tecnológica, mostra a viabilidade de transformar a energia cinética das águas e as forças das ondas em corrente elétrica. À medida que os países procuram abandonar os combustíveis fósseis, é necessário desenvolver formas de aproveitar as energias renováveis. Com isso, na maioria dos casos busca-se reforçar a importância da diversificação da matriz energética que são limitadas generativas durante todo dia, visto que, por meio de um experimento prático colocado no curso de água que pode produzir energia continuamente, dia e noite. A energia das ondas converte energia que varia consideravelmente dependendo do projeto específico, da escala do conversor e da potência desejada produzida pelo tamanho do seu ímã ou por um eletroímã capaz de converter a energia cinética das águas e as forças das ondas em energia elétrica.

Ao propor o uso consciente dos recursos naturais, o estudo incentiva a reflexão sobre como a ciência pode contribuir para o desenvolvimento de soluções sustentáveis, destacando o papel fundamental da Física, especialmente nos conceitos de energia maremotriz que envolvem o aproveitamento do movimento do mar para a geração de eletricidade.

Na prática experimental, são aplicados os princípios da indução eletromagnética, permitindo observar, na prática, o processo de geração de eletricidade por meio de um dispositivo maremotriz contendo um ímã. Impulsionado pelo movimento das ondas, esse ímã oscila, provocando variações no campo magnético que geram diferença de potencial e produzem corrente elétrica, este fenômeno que constitui um dos pilares da Física moderna. De forma geral, a pesquisa evidencia que é possível integrar teoria e prática para compreender o funcionamento das fontes de energia renovável. Mais do que um simples experimento, o trabalho representa um convite à construção de um futuro mais consciente, no qual ciência e sustentabilidade e caminham lado a lado.

Nesse contexto, os estudos de Moraes (2019), Cruz e Sarmiento (2004) e Costa e Gomes (2024) orientam e contribuem para uma melhor compreensão do comportamento das ondas. A partir dessa base teórica, utiliza-se um protótipo experimental que demonstra uma alternativa aplicável para a conversão de energia, transformando a energia mecânica das ondas em corrente elétrica. O modelo pode ser implementado por meio de instalações estrategicamente posicionadas, como próximas a quebra-mares, afastadas da costa ou ao longo de rotas de navegação, reforçando o potencial dessa tecnologia como solução energética eficiente e ambientalmente responsável para reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

2.1 CONCEITOS FÍSICOS E MODELO TÉCNICO DO CIRCUITO DE INDUÇÃO DA ENERGIA DAS ONDAS E DAS MARÉS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A conversão da energia das marés e das ondas constitui uma alternativa promissora para a geração sustentável de eletricidade, fundamentando-se em princípios da mecânica dos fluidos, da gravitação universal e da indução eletromagnética. As marés resultam da interação gravitacional entre a Terra, a Lua e o Sol, que provoca oscilações periódicas do nível do mar. Esse movimento cíclico, previsível e regular, pode ser aproveitado como recurso energético limpo. As ondas oceânicas, por sua vez, formam-se principalmente pela ação dos ventos sobre a superfície da água, que transferem energia ao fluído e geram movimentos oscilatórios na superfície do mar. Desse modo, é possível converter a energia presente nesses movimentos das águas oceânicas em corrente elétrica. (Piovani e Trigoso, 2020).

Matematicamente, a energia cinética de um corpo de massa, em movimento com velocidade, é dada por:

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{equação. 1})$$

Em que (m) corresponde à massa de água deslocada em quilogramas (kg), velocidade (v^2) representa o quadrado em metros por segundos (m/s) e (Ec) corresponde à energia cinética. O fator ($\frac{1}{2}$) é a constante presente na fórmula da energia cinética no sistema internacional de unidades (SI), utilizada para descrever a energia associada ao movimento de um corpo. (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

Essa forma de energia pode ser aproveitada por turbinas submersas, que convertem a energia do fluxo em movimento rotacional e, posteriormente, em energia elétrica. (Rafael, 2025).

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2012), o trabalho realizado por uma força corresponde à transferência de energia quando essa força provoca o deslocamento de um corpo, dependendo da intensidade da força aplicada, do deslocamento e do ângulo entre a direção da força e a direção do movimento. Nesse sentido, considerando que a energia cinética pode ser associada ao trabalho (W) realizado por uma força (F) gerada pela ação dos ventos ao longo de um deslocamento (d) em metros na superfície da água, e levando em conta o ângulo (θ) adimensional entre a direção da força e a direção do movimento, essa relação pode ser expressa pela seguinte fórmula no sistema internacional (SI):

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \cdot \cos(\theta) \quad (\text{equação. 2})$$

Já a energia potencial gravitacional (E_{pg}), associada à variação entre maré alta e baixa, onde a massa (m) é multiplicada sob aceleração da gravidade (g) e a altura (h) representa a diferença de altura entre maré alta e baixa das ondas, pode ser expressa pela seguinte fórmula no sistema internacional de unidades (SI). (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

$$Ep = m \cdot g \cdot h \quad (\text{equação. 3})$$

Usinas maremotrizes exploram essa variação, armazenando água durante a maré alta e liberando-a na maré baixa, acionando turbinas e gerando eletricidade. (Silva, 2019).

Quando apenas forças conservativas atuam sobre um corpo, a soma da energia cinética e da energia potencial permanece constante, mesmo que ocorra transformação entre essas duas formas de energia ao longo do movimento. Essa soma é denominada energia mecânica total do sistema. (Rafael, 2025).

Assim, a energia mecânica total (E_m) é medida em Joules (J) disponível em um ciclo pode ser expressa pela soma da energia cinética (E_c) e da energia potencial gravitacional (E_p), pode ser expressa pela seguinte fórmula no sistema internacional de unidades (SI):

$$E_m = E_c + E_p \quad (\text{equação. 4})$$

e a potência em Joules (J) é medida pela energia mecânica total (E_m) sobre a variação de tempo (Δt), pode ser expressa pela seguinte fórmula no sistema internacional de unidades (SI):

$$J = \frac{E_m}{\Delta t} \quad (\text{equação. 5})$$

No caso das ondas (energia ondomotriz), o movimento oscilatório da superfície do mar pode ser descrito matematicamente como uma função harmônica simples:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi_o) \quad (\text{equação. 6})$$

A posição ($x(t)$) representa a variação da diferença de altura entre maré alta e a maré baixa das ondas em metros em relação ao tempo (s) em segundos, (A) é a amplitude máxima da onda em deslocamento, também em metros (m), o cosseno (cos) é o ângulo da onda, o ômega (ω) é frequência angular vezes o tempo em radianos por segundo (rad/s) e a fase inicial (ϕ) da onda é medida em radianos (rad).

Essa modelagem matemática permite descrever e quantificar o movimento periódico da superfície da água, bem como analisar a energia associada ao sistema

oscilatório, sendo amplamente utilizada no estudo de ondas mecânicas. (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Conforme discutido por Halliday, Resnick e Walker (2016), uma onda progressiva em duas dimensões geralmente descrita no plano (x) e (y), pode ser representada por uma função de onda que expressa o deslocamento em função da posição e do tempo. A forma padrão dessa função descreve uma onda plana que se propaga em um determinado plano espacial. No Sistema Internacional de Unidades (SI), todas as grandezas envolvidas seguem um padrão minucioso e consistente, garantindo precisão na análise física do fenômeno.

- Onda para a direita (sentido +x):

$$y(x, t) = y_m \text{ Sen } (Kx - \omega t) \quad (\text{equação. 7})$$

- Onda para a esquerda (sentido -x):

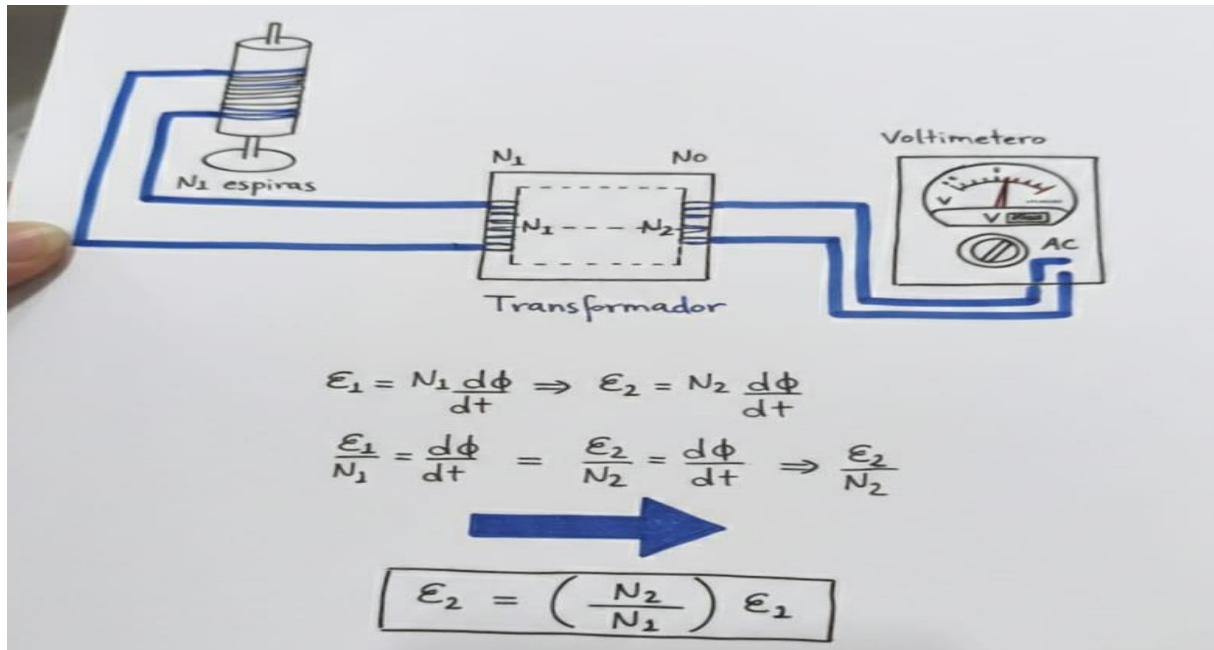
$$y(x, t) = y_m \text{ Sen } (Kx + \omega t) \quad (\text{equação. 7})$$

Uma onda progressiva tem como conversores boias flutuantes, absorvedores pontuais e colunas de água oscilante transformam a diferença entre cristas e vales em energia elétrica. A eficiência desses sistemas depende da intensidade e regularidade das ondas, além da densidade da água do mar. Dessa forma, os fundamentos físicos demonstram que a energia das marés e das ondas, por ser renovável, previsível e de baixo impacto ambiental, representa uma alternativa estratégica para diversificar a matriz energética, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e contribuir para a sustentabilidade global. (Costa e Gomes, 2024).

O modelo técnico do circuito de indução eletromagnética representa um campo magnético variável em uma bobina primária induz uma tensão em um transformador, medida por um voltímetro.

Para ilustrar o circuito de indução eletromagnética, a **imagem 1** apresenta o funcionamento físico da esquematização dos componentes de um sistema eletromagnético do experimento maremotriz.

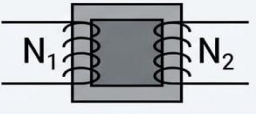
Figura 1 – Sistema eletromagnético do experimento maremotriz.



Fonte: Autoria própria

O circuito é interligado da seguinte forma, observe o quadro da **imagem 2** relacionado a **imagem 1** da esquematização dos componentes de um sistema eletromagnético do experimento maremotriz:

Figura 2 – Descrições do sistema eletromagnético do experimento maremotriz.

Componente	Símbolo/Nome	Descrição
Bobina	N_1	Bobina primária com N_1 espiras submetida a fluxo magnético variável.
Transformador	T 	Núcleo ferromagnético com bobina primária (N_1) e secundária (N_2).
Voltímetro	V	Instrumento de medição de tensão conectado à bobina secundária.

Fonte: Autoria própria

1. Bobina primária (N_1): Os terminais da bobina N_1 são conectados diretamente aos terminais de entrada do Transformador.
2. Transformador (T): O primário (N_1) recebe a indução da bobina. O secundário (N_2) é conectado ao voltímetro.

3. Voltímetro (V): Conectado em paralelo aos terminais de saída do transformador (N_2) para medir a tensão induzida.

No entanto, a força eletromotriz induzida gera uma corrente que se opõe à variação do fluxo magnético, conforme estabelece a **Lei de Lenz**. Essa oposição é representada pelo sinal negativo presente na forma completa da **Lei de Faraday**. (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Assim, o funcionamento do circuito baseia-se no princípio da indução eletromagnética: a variação do fluxo magnético através da bobina produz uma força eletromotriz induzida (ε_1) na bobina primária, cuja intensidade é proporcional ao número de espiras (n_1) e à taxa de variação do fluxo magnético (Φ) em relação ao tempo (Δt), pode ser expressa pela seguinte fórmula no sistema internacional (SI). (Halliday; Resnick; Walker, 2016):

$$\varepsilon_1 = -N_1 \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (\text{equação. 8})$$

Já a tensão induzida na bobina primária do transformador (N_1), é da mesma forma, a tensão (N_2) induzida na bobina secundária do transformador. O transformador funciona porque o fluxo magnético (Φ) que passa pela bobina primária é o mesmo fluxo (aproximadamente) que passa pela bobina secundária, graças ao núcleo de ferro que guia esse fluxo. (Rafael, 2025).

Como a variação de fluxo $\left(\frac{d\Phi}{dt}\right)$ é o mesmo para ambos os lados, a única coisa que muda a tensão entre a entrada e a saída é a proporção entre o número de espiras, é dada por:

$$\varepsilon_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{equação. 9})$$

A relação da transformação ao isolar o termo de variação de fluxo $\left(\frac{d\Phi}{dt}\right)$ em ambas as equações e igualá-las, obtemos a relação de tensão do transformador, dado por:

$$\frac{\varepsilon_1}{N_1} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\varepsilon_2}{N_2} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\varepsilon_1}{N_1} = \frac{\varepsilon_2}{N_2} \quad (\text{equação. 10})$$

A tensão final medida pelo voltímetro (ε_2) é dada por:

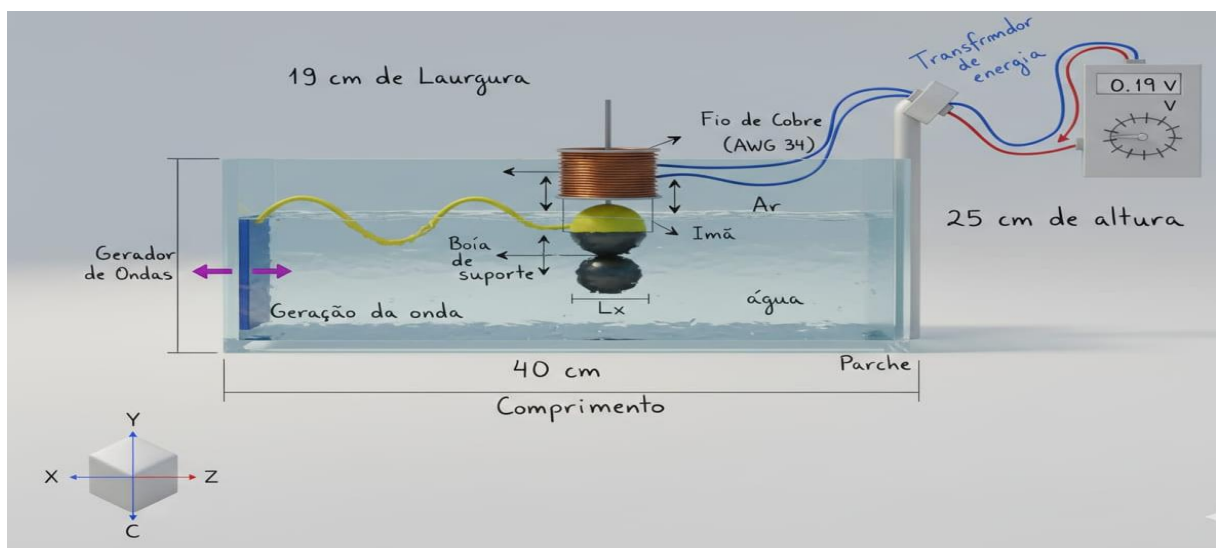
$$\varepsilon_2 = \left| \frac{N_2}{N_1} \right| \varepsilon_1 \quad (\text{equação. 11})$$

Dessa forma, se $N_2 > N_1$: O transformador é elevador (aumenta a tensão). Se $N_2 < N_1$: O transformador é abaixador (diminui a tensão).

A **imagem 3** apresenta uma representação esquemática da análise do protótipo experimental, onde é possível observar as características da crista e cava das ondas bem definidas. Esse perfil ocorre porque o fluido, inicialmente em repouso, rompe o estado de inércia por meio da ação do gerador de ondas.

Com base na representação gráfica das ondas geradas ao longo do tanque, foram realizadas simulações numéricas de incidência sobre o conversor para determinar qual geometria do dispositivo proporciona o melhor desempenho energético. O princípio de operação baseia-se no fluxo de ar que, ao ser deslocado pela coluna de água e passar pela turbina instalada no tubo plástico, promove a oscilação do eixo das boias em conexão ao imã e a consequente geração de energia elétrica. (Grimmler, 2013).

Figura 3 – Representação esquemática da análise tridimensional da influência da geometria da câmara em um dispositivo de conversão de energia das ondas em energia elétrica.



Fonte: Autoria própria

O funcionamento baseia-se na Lei de Faraday sobre a movimentação de um ímã dentro da primeira bobina gera uma tensão induzida, pois varia o fluxo magnético no tempo. Essa tensão cria uma corrente alternada que circula pelo transformador. O núcleo de ferro do transformador transmite essa variação de fluxo magnético para a segunda bobina. Devido à proporção física entre o número de espiras da primeira e da segunda bobina, a tensão é transformada (aumentada ou diminuída) e medida pelo voltímetro. (Monteiro, 2009).

2.1.1 Elementos de uma onda

As ondas do mar podem ser entendidas como movimentos oscilatórios que se formam na superfície dos oceanos. Por sua natureza repetitiva, são classificadas como fenômenos periódicos, o que significa que apresentam um padrão que se repete ao longo do tempo. (Cruz e Sarmiento, 2004).

Essa regularidade permite que sejam estudadas por meio de grandezas físicas que descrevem suas principais características.

A amplitude representa a altura da onda em relação à posição de equilíbrio, sendo definida como a metade da distância entre o ponto mais alto (crista) e o ponto mais baixo (cava ou depressão). O comprimento de onda corresponde à distância entre duas cristas sucessivas, ou seja, a extensão espacial de um ciclo completo. O período indica o tempo que a onda leva para percorrer um comprimento de onda, enquanto a frequência é o inverso do período, representando quantos ciclos se repetem em um segundo. Já a velocidade de propagação resulta do produto entre o comprimento de onda e a frequência, mostrando a rapidez com que a energia se desloca na superfície da água. (Alves, 2024).

Um ponto de destaque é que as ondas podem viajar por milhares de quilômetros praticamente sem perder energia de forma significativa. Isso confere a elas uma vantagem importante quando comparadas a outras fontes renováveis, como a energia solar e a eólica, que estão sujeitas a variações climáticas e sazonais. (Mendonça et al., 2022).

Portanto, a energia das ondas se mostra uma alternativa promissora e previsível dentro do cenário energético sustentável. Para ilustrar suas potencialidades, o quadro 1 apresenta uma comparação entre algumas fontes renováveis, destacando suas características, pontos fortes e limitações.

Quadro 1 – Comparação entre fontes de energias renováveis.

Fonte de energia	Principais características	Vantagens	Limitações
Energia solar	Depende da radiação solar direta. Mais eficiente em regiões de alta insolação.	Fonte inesgotável, de fácil instalação e com queda de custos nos últimos anos.	Intermitente (não gera à noite), depende de fatores climáticos e precisa de grandes áreas para alta produção.
Energia eólica	Aproveita a força dos ventos para gerar eletricidade por meio de aerogeradores.	Boa eficiência em locais com ventos constantes, baixo impacto ambiental direto.	Variabilidade do vento, impacto visual e sonoro, necessidade de áreas extensas.
Energia das ondas	Utiliza o movimento oscilatório das massas de água na superfície do mar.	Fonte previsível, de alta densidade energética e grande disponibilidade nos oceanos.	Tecnologia ainda em desenvolvimento, custos de implantação elevados e desafios de manutenção em ambiente marítimo.

Fonte: Autoria própria⁴

2.1.2 Conversores de energia das Ondas

A preferência da energia das ondas destaca-se como uma alternativa de alta densidade energética e ampla disponibilidade nos oceanos. Sua previsibilidade relativa, quando comparada a outras fontes renováveis, favorece o planejamento e a estabilidade na geração de eletricidade. Além disso, apresenta baixo impacto visual e reduzida emissão de poluentes durante a operação. O aproveitamento desse recurso contribui para a diversificação da matriz energética, fortalecendo a segurança energética e incentivando o desenvolvimento tecnológico sustentável em regiões costeiras.

Para que a energia presente no movimento das ondas seja transformada em eletricidade utilizável, é necessário o uso de dispositivos próprios para essa finalidade, conhecidos como conversores de energia das ondas. Esses equipamentos são responsáveis por captar a força mecânica da oscilação da água e transformá-la em energia elétrica de forma controlada e eficiente.

⁴ Fonte: Elaborada pelos autores, adaptado de Cruz e Sarmiento (2004), Alves (2024), Mendonça et al (2022).

Conforme discutido por Costa e Gomes (2024), a forma como esses conversores são instalados varia de acordo com as características do ambiente marinho, especialmente a profundidade da água. Por isso, eles são comumente classificados em três grupos principais, para ilustrar a classificação dos conversores de energia das ondas, a quadro 1 apresenta uma comparação entre conversores, destacando suas características, vantagens e limitações:

Quadro 2 – Classificação dos conversores de energia das ondas.

Tipos de Conversores	Localização	Profundidade típica	Vantagens	Limitações
Shoreline ou Onshore (Costeiros)	Instalados na linha da costa	≤ 20 m	Facilidade de acesso e manutenção, custo relativamente menor.	Baixa densidade energética, aproveitamento limitado.
Nearshore (águas rasas, próximos da costa)	Águas rasas próxima da costa	$20 \text{ m} < a \leq 50$ m	Estruturas firmadas no fundo, acesso ainda viável para manutenção.	Menor potencial energético em comparação ao offshore.
Offshore (Afastados da costa)	Regiões oceânicas profundas	≥ 50 m	Maior aproveitamento do potencial das ondas, alta densidade energética.	Maior custo de implantação, manutenção complexa.

Fonte: Autoria própria⁵

A principal diferença entre os dispositivos *shoreline*, *nearshore* e *offshore* está relacionada à profundidade de instalação. O sistema *shoreline* operam em águas rasas, geralmente com profundidades de até 20 metros, e o sistema *nearshore* podendo chegar a cerca de 50 metros, sendo normalmente fixados ao fundo marinho. Já o dispositivo *offshore* são instalado em profundidade superior a 50 metros, onde o conversor de energia é sustentado por sistemas flutuantes.

Essa diferença é significativa, pois quanto maior a profundidade, maior também tende a ser o potencial energético das ondas. Dessa forma, os sistemas offshore se mostram mais vantajosos do ponto de vista de eficiência, embora exijam maior

⁵ Fonte: Adaptado de Costa e Gomes (2024).

investimento e enfrentem desafios de manutenção por estarem em ambientes mais agressivos. (Costa e Gomes, 2024).

2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS DE VIABILIDADE DA ENERGIA DAS ONDAS E DAS MARÉS COMO ALTERNATIVA PARA A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE SUSTENTÁVEL

A busca por alternativas energéticas sustentáveis é um dos maiores desafios atuais. Nesse contexto, a energia proveniente das ondas e das marés apresenta-se como uma solução promissora frente ao esgotamento dos combustíveis fósseis, que além de finitos, emitem gases de efeito estufa e poluentes nocivos à atmosfera. Ao contrário, os recursos oceânicos são renováveis, abundantes e possuem baixo impacto ambiental, constituindo uma fonte limpa de eletricidade. (Santana et al., 2020).

Do ponto de vista científico, a Física desempenha papel essencial nesse processo, fornecendo os fundamentos para compreender a conversão eficiente da energia oceânica. As marés resultam da interação gravitacional entre a Terra e a Lua, produzindo oscilações regulares e previsíveis do nível do mar, que podem ser exploradas em usinas maremotrizes. Já as ondas são geradas, em grande parte, pela ação dos ventos sobre a superfície oceânica, transmitindo energia mecânica que se manifesta em movimentos oscilatórios e periódicos, que são aproveitados por conversores ondomotrizes. (Moraes, 2019).

Conforme discutido por Nóbrega et al. (2009), a captação de energia das ondas por meio de dispositivos nearshore, offshore e shoreline apresenta vantagens específicas, relacionadas às condições de instalação, operação e aproveitamento do recurso energético. As principais vantagens podem ser descritas da seguinte forma:

Dispositivos nearshore (águas rasas, próximos à costa):

- Facilidade de acesso para instalação, monitoramento e manutenção.
- Menores custos de implantação e operação em comparação aos sistemas offshore.
- Redução das perdas na transmissão de energia elétrica, devido à proximidade com a rede.
- Menor complexidade estrutural e tecnológica.
- Possível contribuição para a mitigação da erosão costeira.

Dispositivos offshore (afastados da costa, geralmente flutuantes):

- Maior intensidade e regularidade das ondas, resultando em maior potencial energético.
- Elevada capacidade de geração de energia elétrica.
- Menor interferência visual e paisagística nas áreas costeiras.
- Redução de conflitos com usos do litoral, como turismo e ocupação urbana.
- Possibilidade de projetos modulares e escaláveis.

Dispositivos shoreline (instalados diretamente na costa):

- Instalação simplificada, integrada a estruturas costeiras existentes, como quebra-mares e paredões.
- Custos reduzidos de ancoragem e infraestrutura marítima.
- Fácil conexão ao sistema elétrico terrestre.
- Acesso direto para operação e manutenção.
- Menor exposição a condições extremas do mar, quando comparado ao modelo offshore.

Essas vantagens evidenciam o potencial técnico e estratégico dos diferentes modelos de dispositivos para o aproveitamento da energia das ondas, permitindo sua aplicação conforme as características ambientais e socioeconômicas de cada região costeira. Como:

- Boias flutuantes, que convertem o movimento vertical das ondas em eletricidade;
- Colunas de água oscilante, que utilizam a variação do nível da água para comprimir e descomprimir o ar, movimentando turbinas;
- Absorvedores pontuais, estruturas ancoradas que captam a energia a partir da oscilação da água.

Todos esses modelos têm em comum a capacidade de transformar energia cinética e potencial em eletricidade, seja por meio de turbinas ou geradores lineares. Do ponto de vista físico, o comportamento dos conversores offshore pode ser descrito por modelos matemáticos baseados no oscilador harmônico amortecido forçado, que relaciona massa, amortecimento, elasticidade e forças externas. (Oliveira e das Neves Gomes, 2018).

De forma semelhante aos dispositivos nearshore e shoreline também podem ser descritos por modelos físicos baseados no oscilador harmônico amortecido forçado.

Nos modelos nearshore, instalados em águas rasas, o amortecimento hidrodinâmico é mais elevado devido à interação com o fundo marinho e à maior dissipação de energia, o que exige ajuste da frequência natural do conversor às características das ondas locais para maximizar a eficiência. Já os dispositivos shoreline, posicionados diretamente na costa ou integrados a estruturas fixas, apresentam dinâmica mais restrita, com menor número de graus de liberdade. Nesses casos, a conversão de energia está associada principalmente às variações do nível da água e às pressões exercidas pelas ondas, sendo o amortecimento influenciado por perdas viscosas e mecânicas. (De Melo Kahn, 2017).

Esses modelos permitem prever a resposta do dispositivo às ondas e otimizar sua eficiência a partir de características como geometria e propriedades hidrodinâmicas. No caso das marés, sua variação pode ser representada por análises harmônicas, já que os fatores astronômicos que as governam são altamente previsíveis. (Souza Filho, 2020).

2.3 MONTAGEM DO PROTÓTIPO MAREMOTRIZ

Toda base para a construção do protótipo experimental de escala reduzida de conversão de energia maremotriz, o estudo direciona ao trazer contribuições para o entendimento dos conceitos físicos envolvidos nas ondulações e variações geradas a partir do movimento das ondas.

segundo Moraes (2019, p. 44) “o presente trabalho teve como objetivo o desenvolver e construir um protótipo para demonstrar o funcionamento de um dispositivo conversor de energia ondomotriz em energia elétrica. Com o protótipo foi possível compreender melhor o princípio de conversão para esse dispositivo e também as dificuldades encontradas. A partir desses conhecimentos, é possível o planejamento de um protótipo em escala real.” Dessa forma, é possível caracterizar os fundamentos físicos presentes no processo de conversão da energia das ondas por meio da análise do processo natural responsável por sua formação. Para isso, realizou-se uma demonstração experimental minuciosa, que descreve os princípios físicos envolvidos na conversão de energia mecânica em energia elétrica a partir do

movimento natural da água oceânica, utilizando o princípio da indução eletromagnética em um modelo técnico de escala reduzida, conforme estabelece a **Lei de Faraday–Lenz**.

Ademais, o experimento considera a variação de diferentes intensidades de ondas, simuladas mecanicamente, com o objetivo de analisar os resultados obtidos e avaliar a eficiência do protótipo no processo de conversão energética. Nesse contexto, foram obtidos resultados semelhantes à de “Moraes (2019)”, valores próximos 0,1 milivolts e $\pm 2,4$ milivolts.

Todos os materiais reciclados utilizados na construção do protótipo foram obtidos no laboratório de física do Instituto Federal do Piauí (IFPI), Campus Angical. Esses materiais, em sua maioria simples e de fácil acesso, possibilitam a demonstração prática dos princípios físicos envolvidos no experimento. Entre os componentes utilizados destacam-se: fio de cobre esmaltado AWG 34, tubo plástico, bolas de isopor, ímãs de neodímio, aquário de acrílico, suporte de papelão revestido com plástico filme, voltímetro, cabos de teste, espetos de madeira, tampa plástica perfurada, fita gomada, cola quente, água, tampa plástica e transformador de corrente elétrica.

O uso desses materiais permite a montagem de um modelo experimental funcional, capaz de ilustrar de forma didática o processo de conversão de energia mecânica das ondas em energia elétrica por meio do princípio da indução eletromagnética.

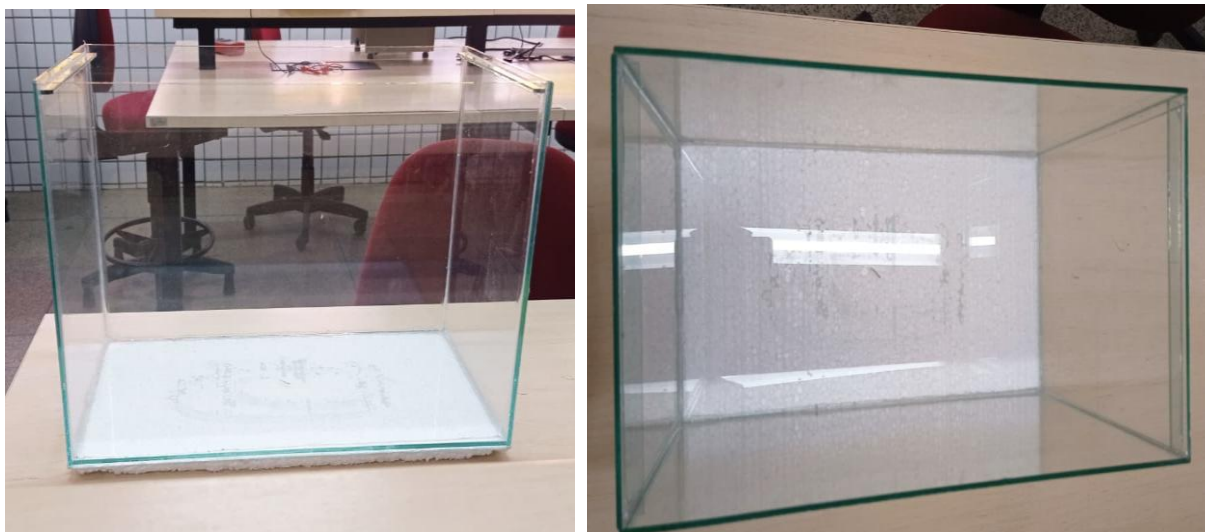
Nas figuras a seguir, é possível observar todos os itens mencionado para a construção do protótipo de conversão de energia maremotriz:

Figura 4 - transformador de corrente elétrica gerada pela indução magnética.



Fonte: Autoria própria

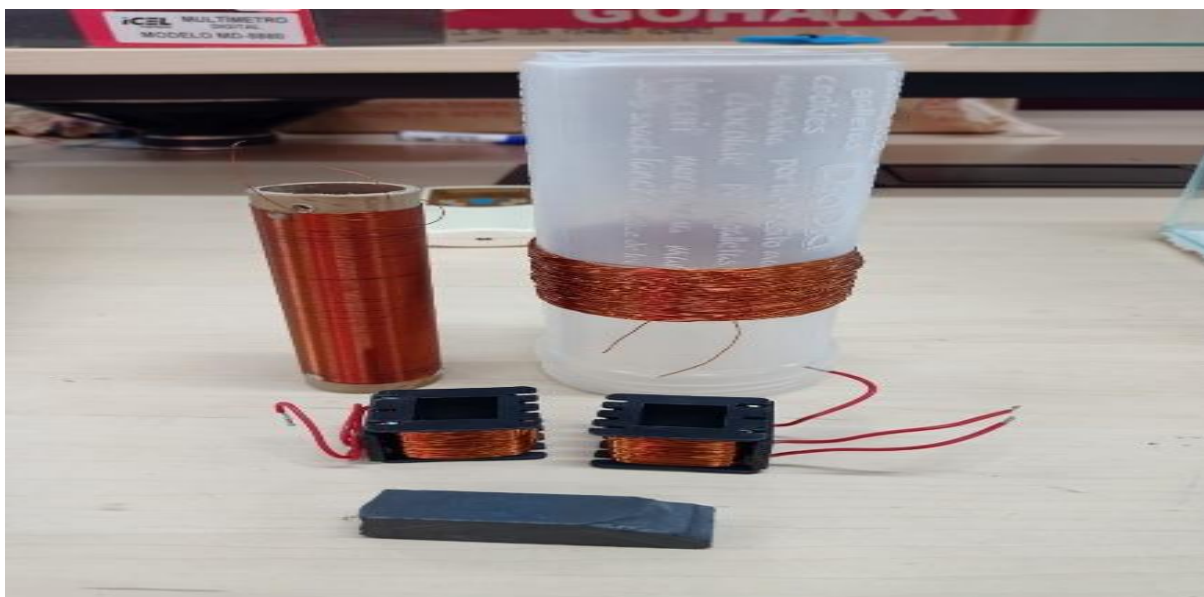
Figura 5 - Aquário de 19 litros aproximadamente, com vidro de 3mm de espessura. Medidas:
Comprimento: 40cm. Largura: 19cm. Altura: 25cm.



Fonte: Autoria própria

O tubo plástico atuou como a estrutura principal do sistema. Em sua parte externa, foi enrolada a bobina de cobre, enquanto na mesa dois transformadores de indução eletromagnética e o ímã de neodímio que pode se deslocar livremente. Na (figura 6), é possível observar o tubo plástico transparente totalmente enrolada e revestida pelo fio de cobre.

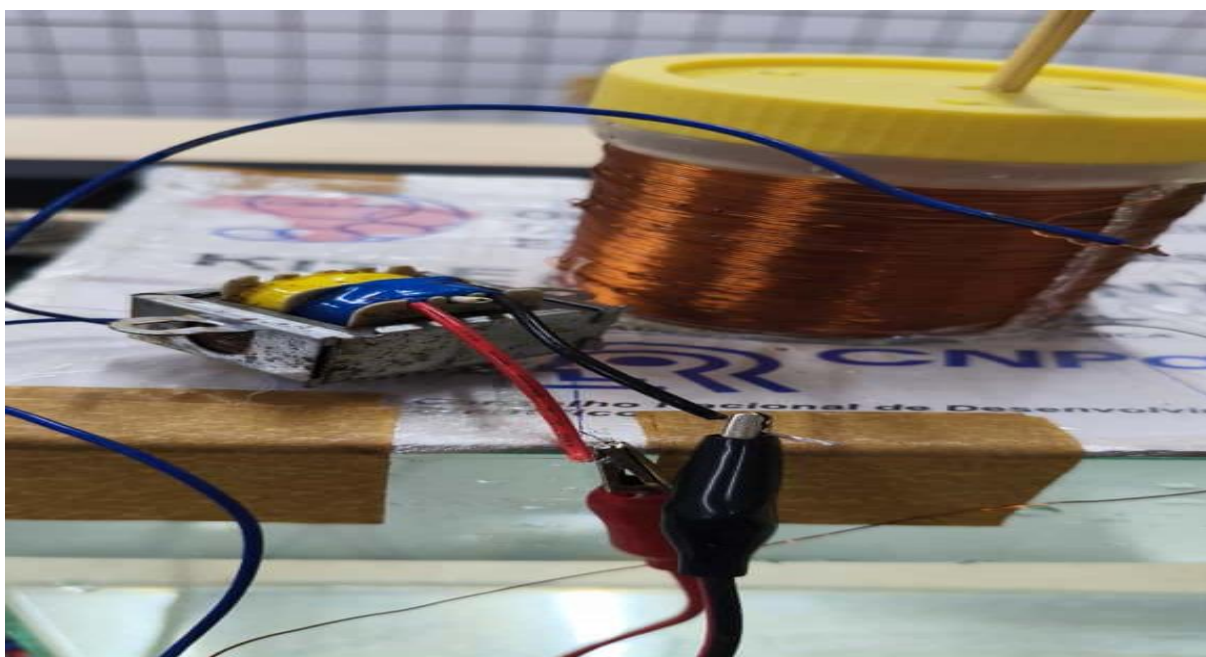
Figura 6 – Bobina por indução eletromagnética.



Fonte: Autoria Própria

A escolha do fio de cobre de bitola fina (AWG 34) foi estratégica: fios mais finos permitem um número maior de espiras no enrolamento, o que resulta em valores mais elevados de tensão induzida. Embora a corrente gerada tenha sido de baixa intensidade, isso não comprometeu os objetivos do experimento. O propósito principal era demonstrar os valores indicados no voltímetro, resultantes das oscilações da água. O componente utilizado possui baixa exigência elétrica, demandando aproximadamente **200 mA** de corrente e uma tensão entre **0,1 milivolts** e **± 2,4 milivolts (mV)**. Na figura 4, é possível observar que bobina totalmente enrolada é revestida pelo fio de cobre junto ao conversor de energia conectados aos polos dos fios de cobre e os cabos de teste conectados aos polos dos fios do conversor de energia.

Figura 7 – Conversor de energia conectado a bobina e aos cabos de teste.



Fonte: Autoria Própria

A diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um condutor é definida como a quantidade de energia, em joules (J), necessária para transportar uma carga elétrica de 1 coulomb (C) entre esses pontos. A unidade de medida dessa grandeza é o volt (V), correspondente à diferença de potencial (DDP) estabelecida pelo Sistema Internacional de Unidades (SI).

Na figura (8), é possível observar todos os itens mencionado para a construção do protótipo experimental de conversão de energia maremotriz.

Figura 8 – Todos os itens utilizados na montagem do protótipo experimental de conversão de energia maremotriz.



Fonte: Autoria Própria

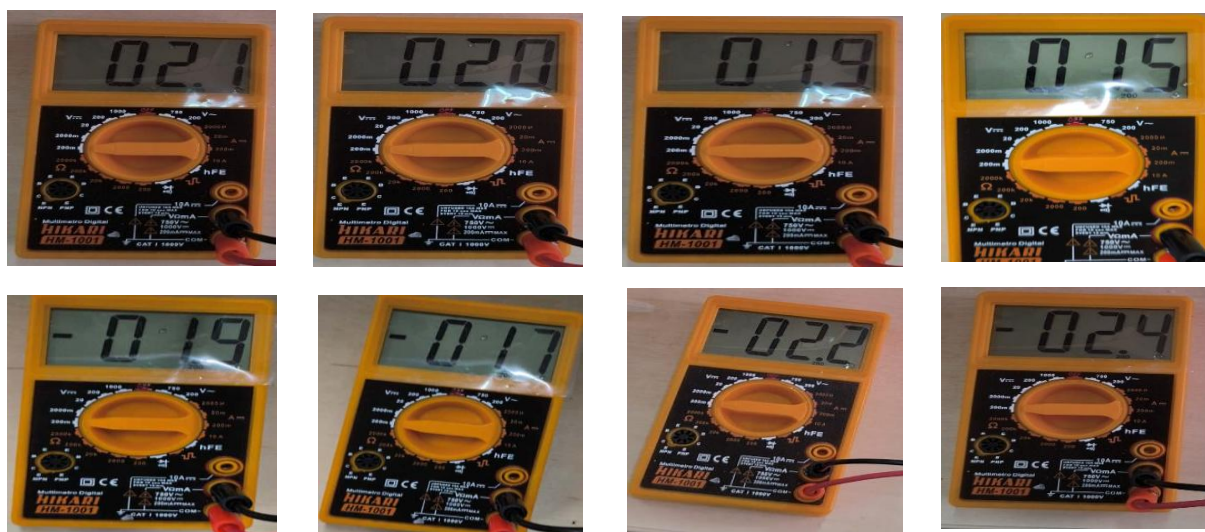
2.4 ANALISES DOS RESULTADOS OBTIDOS DO PROTÓTIPO EXPERIMENTAL

Os testes experimentais confirmaram a capacidade do protótipo de converter o movimento oscilatório em eletricidade por indução eletromagnética. Em movimentos de pequena amplitude, registraram-se valores médios de **0,1 milivolts**, enquanto em oscilações mais intensas os valores atingiram mais ou menos **$\pm 2,4$ milivolts**, o que possibilitou o acionamento do voltímetro conectado ao circuito.

Assim, cada elevação da onda é capaz de gerar uma tensão aproximada de 2,25 milivolts, permitindo que a energia associada ao movimento da água seja convertida em corrente elétrica. Esse processo de conversão ocorre a partir da interação entre os movimentos hidrodinâmicos das ondas e o conversor de energia acoplado à bobina, responsável pela indução eletromagnética. Além disso, o rendimento do sistema depende diretamente do projeto do dispositivo e das características das ondas atuantes. Diante disso, a energia das ondas destaca-se como uma fonte renovável promissora, em função de sua disponibilidade, previsibilidade e potencial para a produção de energia limpa.

Na figura 9, é possível observar todos os resultados obtidos através do voltímetro e todas as cargas geradas do protótipo de conversão de energia maremotriz:

Figura 9 – Valor obtido nas oscilações da boia com ímã de cima para baixo, com uma diferença de potencial da corrente induzida.



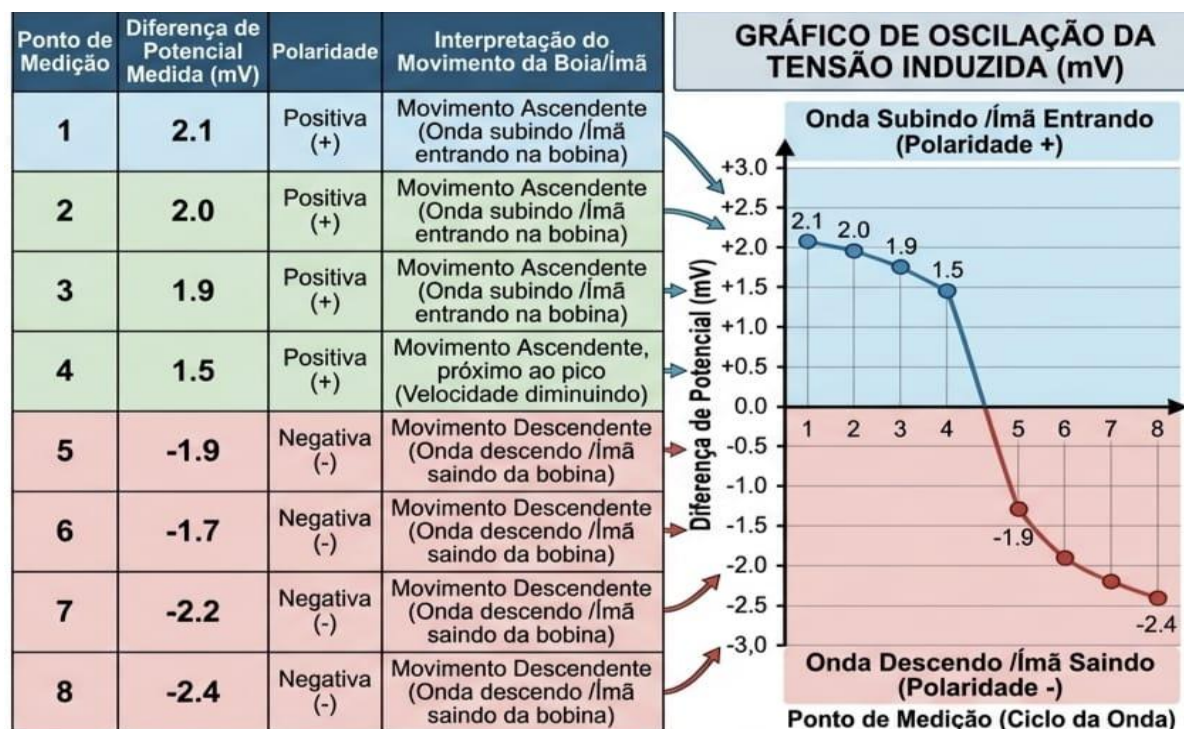
Fonte: Autoria própria.

Embora a potência gerada seja limitada, os resultados obtidos são compatíveis com o esperado para um modelo em escala reduzida, evidenciando a relação direta entre a intensidade do movimento ondulatório e a diferença de potencial induzida.

Conforme discutido por Moraes (2019), do ponto de vista físico, essa resposta está associada à energia cinética do fluido em movimento e à energia mecânica transferida ao sistema conversor, cujo deslocamento do ímã, provocado pela oscilação da onda, resulta na variação do fluxo magnético na bobina. O desempenho do protótipo pode ser aprimorado por meio do uso de ímãs mais intensos, bobinas com maior número de espiras ou mecanismos de acoplamento que ampliem o deslocamento relativo, aumentando, assim, a força eletromotriz induzida.

Para ilustrar os valores obtidos por meio do voltímetro e do transformador de energia, utilizados como elementos no processo de conversão da energia das ondas, o quadro 3, acompanhado de seu respectivo gráfico, apresenta uma comparação da corrente eletromagnética induzida. Nessa representação, destaca-se a variação do fluxo magnético na bobina do protótipo, evidenciando sua relação direta com a geração de energia elétrica:

Quadro 3 – Oscilações das diferenças de potencial (FEM) induzida: Protótipo de energia maremotriz (escala reduzida).



Fonte: Autoria própria⁶

Do ponto de vista físico, essa resposta está associada à energia cinética do fluido em movimento e à energia mecânica transferida ao sistema conversor, cujo deslocamento do ímã, provocado pela oscilação da onda, resulta na variação do fluxo magnético na bobina. O desempenho do protótipo pode ser aprimorado por meio do uso de ímãs mais intensos, bobinas com maior número de espiras ou mecanismos de acoplamento que ampliem o deslocamento relativo, aumentando, assim, a força eletromotriz induzida.

Sob a perspectiva científica, o experimento válido a **Lei de Faraday-Lenz**, segundo a qual a variação temporal do fluxo magnético em um circuito induz uma tensão elétrica capaz de produzir corrente. Nesse modelo maremotriz em escala reduzida, essa variação decorre da conversão da energia mecânica das ondas originada pela ação da pressão hidrodinâmica e pelo movimento oscilatório do fluido em energia elétrica. A interação entre o fluido e o conversor evidência princípios da mecânica dos fluidos, especialmente no que se refere às forças exercidas pelas ondas sobre o dispositivo.

⁶ Fonte: Adaptado de Moraes (2019).

Dessa forma, embora o protótipo tenha limitações práticas, sua relevância científica reside em demonstrar, de maneira experimental e acessível, a conversão da energia cinética e potencial das ondas em eletricidade, integrando conceitos de ondulatória, mecânica dos fluidos e eletromagnetismo. O experimento reforça o potencial da energia das ondas e das marés como alternativa estratégica para a diversificação da matriz energética, desde que acompanhada de avanços tecnológicos e investimentos contínuos em pesquisa aplicada.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve início com a observação do processo de conversão da energia das ondas, tomando como foco central o desenvolvimento e a análise de um protótipo experimental voltado à investigação das energias oceânicas e das formas pelas quais elas podem ser representadas, quantificadas e convertidas em energia elétrica. A partir dessa abordagem, buscou-se compreender os fenômenos físicos envolvidos no movimento ondulatório, tais como a transferência de energia cinética e potencial, a ação das forças hidrodinâmicas e a interação entre o fluido e o dispositivo conversor.

O protótipo permitiu analisar, em escala reduzida, como as oscilações da superfície da água podem ser transformadas em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica, por meio do princípio da indução eletromagnética. Dessa forma, o estudo não apenas evidenciou a viabilidade conceitual da conversão da energia das ondas, mas também contribuiu para a compreensão integrada dos fundamentos de ondulatória, mecânica dos fluidos e eletromagnetismo aplicados à geração de energia renovável.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, os testes realizados demonstraram que o protótipo foi capaz de converter o movimento oscilatório das ondas em energia elétrica, registrando tensões de até $\pm 2,4$ milivolts em situações de maior intensidade de oscilação. Embora a potência gerada seja limitada, os resultados mostraram-se consistentes com a Lei de Faraday–Lenz, evidenciando a relação direta entre a variação do fluxo magnético no sistema e a indução de tensão elétrica. Dessa forma, o protótipo cumpriu adequadamente seu papel científico, ao promover a integração entre teoria e prática e ao demonstrar, de maneira clara e acessível, o potencial da energia oceânica como uma fonte renovável de geração elétrica.

Reconhecidamente, toda a base de análise deste trabalho surgiu da tentativa de comprovar a viabilidade da ideia proposta; no entanto, estudos posteriores podem ser realizados no intuito de refletir de forma mais aprofundada sobre as possíveis consequências negativas do impacto que a energia das ondas pode causar. Essas investigações futuras poderão abranger aspectos ambientais, como alterações nos ecossistemas marinhos e na dinâmica costeira, bem como implicações sociais e econômicas, contribuindo para uma avaliação mais ampla e responsável dessa fonte energética.

REFERÊNCIAS

ALVES, Wesley da Silva. **Conversão de energia cinética do vento para energia mecânica de rotação em turbinas eólicas**. 2024. 11 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Centro de Ciências Exatas e Naturais - CCEN, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró/RN, 2024.

COSTA, R.; GOMES, M. das N. Estudo Bibliométrico da produção científica sobre conversores de energia das ondas do mar. **Revista Thema**, Pelotas, v. 23, n. 2, p. 373–389, 2024. DOI: 10.15536/thema.V23.2024.373-389.2812. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/2812>.

CRUZ, João M. B. P.; SARMENTO, António J. N. A. - **Energia das ondas: introdução aos aspectos tecnológicos, económicos e ambientais**. Alfragide: Instituto do Ambiente, 2004. 61 p.: il.; 24 cm. Bibliografia, p. 55-57. ISBN 972-8577-11-7

DE MELO KAHN, Bernardo. **Estudo Hidrodinâmico da Geometria de um Flutuador para um Dispositivo Conversor de Energia das Ondas**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GRIMMLER, Juliana do Amaral Pereira. **Conversor de energia das ondas em energia elétrica com dispositivo de coluna de água oscilante: Simulação numérica e estudo geométrico**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física, volume 4, edição 9. **LTC, Rio de Janeiro, Brasil**, 2012.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo. Volume 3**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Volume 1 - Mecânica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MORAES, Lays Gazafi de. **Geração de energia ondomotriz: protótipo com gerador por indução magnética**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MONTEIRO, Thiago Machado. **Análise de gerador de indução para produção de energia elétrica a partir das ondas do mar**. 2009. Trabalho de Conclusão de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MENDONÇA, Márcio et al. Energia maremotriz: Análise e fundamentos. **Revista Técnico-Científica**, n. 28, 2022.

NÓBREGA, Antônio Fábio Dantas da. **Estudo sobre a geração de energia elétrica através das ondas do mar**. 2009. 38f. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba Brasil, 2009.

OLIVEIRA, Daniele Melo; DAS NEVES GOMES, Mateus. A ENERGIA DAS ONDAS DO MAR FRENTE AOS PARADIGMAS DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA PELO VIÉS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE. **Revista Mundi Sociais e Humanidades (ISSN: 2525-4774)**, v. 3, n. 1, 2018.

PIOVANI, Juliane Taise; TRIGOSO, Federico Bernardino Morante. Uma visão prospectiva sobre o aproveitamento da energia das marés no litoral brasileiro. In: **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2020.

RAFAEL, Francisco Jonatan de Moraes. **Ensino da lei de Faraday e aprendizagem baseada em projetos: uma proposta de sequência didática com foco em fontes de energia renováveis**. 2025. 85 f. Monografia (Graduação em Licenciatura em Física) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.

SANTANA, Julie Catherine Siqueira et al. O uso e produção da energia limpa como método de preservação ambiental sustentável. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 12, p. 99-111, 2020.

SOUZA FILHO, Roberto Carlos Costa de. **Um estudo sobre a utilização de força maremotriz para geração de energia elétrica**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. UFERSA.

SILVA, Tiago Miguel Nabuco. **Estudo numérico de um conversor hiperbárico de energia das ondas**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal).