

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL

INVENTÁRIO DO POTENCIAL ONDOMOTRIZ DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO POR MEIO DE DISPOSITIVOS DE COLUNA DE ÁGUA OSCILANTE (ONSHORE)

**ADRIANO SILVA BASTOS; CARLOS BARREIRA MARTINEZ(1); DIEIMYS SANTOS RIBEIRO(1); LUCAS
NEVES BRAGA SOARES RIBEIRO
UNIFEI(1)**

RESUMO

A Transição Energética é tema de Conferências e Estratégias de planejamento em diversos países afim de garantir a sustentabilidade e mitigar as mudanças climáticas. Uma das alternativas em pauta desde a década de 1970, é a utilização das energias oceânicas, que possuem uma potencialidade global da ordem de 76.350 TWh. No Brasil a potencialidade é estimada em 998.640 GWh (114 GW). Este estudo propôs identificar qualitativamente e quantitativamente locais para instalação de parques geradores ondomotriz no Estado do Rio de Janeiro. A pesquisa resultou na identificação de 88 localidades que podem vir a gerar 12.480 GWh.ano-1

PALAVRAS-CHAVE

Energia oceânica; Geração ondomotriz; Coluna de água oscilante; Geração distribuída; Planejamento Energético.

1.0 INTRODUÇÃO

Garantir a oferta e o acesso à energia elétrica, é premissa do planejador do setor elétrico nacional, entretanto, é necessário considerar qual fonte a está ofertando. Garantindo que essa, esteja de acordo com conceitos de sustentabilidade discutidos e implementados pelo conjunto de nações desenvolvidas do mundo. A Transição Energética é o ator fundamental desses conceitos. Segundo SMIL (2010), as transições passadas e futuras da base energética da humanidade são processos inerentes a evolução natural, e são realizadas por meio de mudanças na tecnologia, na economia e no social. O modelo de Transição atualmente discutido pelo mundo, preconiza mudanças na economia, por meio da tecnologia juntamente com o compromisso da sociedade, visando transformar a base energética atual em uma base de menor consumo de carbono. Portanto, é papel do indivíduo, do setor produtivo e do Governo, na figura do Planejador, assegurar o uso consciente e sustentável dos recursos naturais, permitindo o desenvolvimento econômico sem prejuízo ao meio ambiente. No território brasileiro há uma faixa litorânea de aproximadamente 7.491 km, que inclui diversas geometrias e morfologias de orla, algumas extremamente propícias a implantação de parques geradores oceânicos. Segundo TOLMASQUIM (2016), oceano é considerado um enorme reservatório de energia térmica e mecânica. Porém, com as atuais tecnologias é possível explorar com eficiência somente a energia mecânica contida no oceano. Observando essas características geomorfológicas do Brasil, demonstra-se de extrema relevância considerar a inserção da energia oceânica na matriz energética e no planejamento futuro. Considerada uma fonte limpa, com alta densidade energética e de escala mundial, a energia oceânica vem a cada dia ganhando mais espaço nos debates e pesquisas em diversos países. Contudo, ainda se trata de uma tecnologia em fase de desenvolvimento / maturação, o que impacta significativamente em seu custo de implementação e produção de energia, mas que futuramente terá uma grande representatividade na matriz energética mundial (FALCÃO, 2010; IRENA, 2020; KHALIGH; ONAR, 2010). A energia oceânica pode ser dividida em seis distintas formas de conversão: i) a energia do gradiente de salinidade (obtida por meio do diferencial de concentração salina que atua em uma membrana semipermeável, originando uma Eletro-Diálise Reversa (RED) ou Pressão Osmótica Retardada (PRO)); ii) a energia do gradiente de temperatura (obtida por meio da diferença de temperatura da água nos oceanos em um ciclo de Rankine); iii) a energia cinética das correntes oceânicas (obtida por meio da transformação da energia hidrocínética do fluxo da corrente oceânica em energia mecânica); iv) a energia cinética das correntes de maré (obtida por meio da transformação da energia hidrocínética do movimento ascendente e descendente da maré astronômica); v) a energia potencial da amplitude das marés (obtida por meio da energia potencial gravitacional do movimento ascendente e descendente da maré astronômica, sendo a energia oceânica mais consolidada até o momento pois utiliza a teoria clássica das máquinas hidráulicas e dos aproveitamentos hidrelétricos); e vi) e a energia potencial e cinética das ondas (obtida por meio da energia cinética proveniente do deslocamento horizontal da massa de água e da energia potencial proveniente do movimento circular orbital das partículas de água contida na massa deslocada) (TOLMASQUIM, 2016; ZABIHIAN; FUNG, 2011). Cada tipo de energia possui um dispositivo conversor adequado, e cada uma possui uma região de exploração diferente, podendo ser na linha costeira (onshore) como afastada dela (nearshore e offshore). Por se tratar de uma energia ainda não

desenvolvida no Brasil, é relevante considerar uma exploração na linha costeira, devido a facilidade de acesso para a implantação e manutenção e sobretudo conexão com a rede elétrica.

Dentre as energias oceânicas a energia ondomotriz é objeto de estudos desde a década de 1970, principalmente utilizando o dispositivo conversor de coluna de água oscilante – CAO (oscillating water column – OWC) (FALCÃO; HENRIQUES, 2016). O dispositivo conversor ondomotriz do tipo coluna de água oscilante são inspirados nas cavidades ressonantes naturais que se formam em encostas rochosas e expõem a água do mar na forma de um Geisel (blowholes). A Figura 1 ilustra o dispositivo, que possui um arranjo simples, composto por uma câmara de compressão com abertura para captar as ondas do mar, um conduto de saída de ar onde está alocado a turbina e o gerador e uma válvula de alívio de sobrepressão.

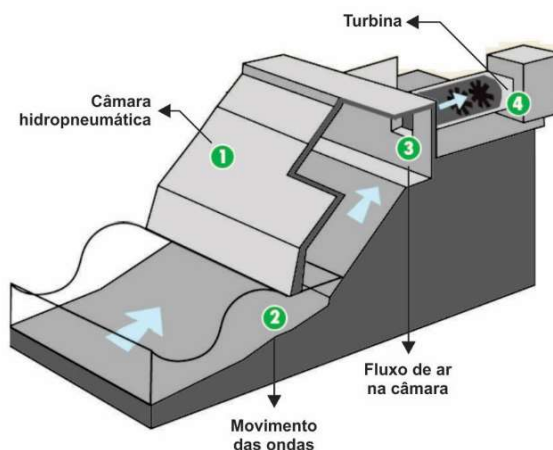


Figura 1 - Blowhole e Coluna de água oscilante.

Este trabalho se propõe a identificar qualitativamente e quantitativamente a potencialidade da energia oceânica ondomotriz no litoral carioca. Realizando uma prospecção georreferenciada por meio da utilização da ferramenta de informações geográficas QGIS®, com a finalidade de identificar locais propícios a implantação de parques geradores ondomotriz e a posterior contabilização energética desses locais. O trabalho se estrutura com a contextualização das energias contidas no oceano, seguido pela apresentação do potencial energético global e local, a apresentação da forma energética contida em uma onda e seus equacionamentos de obtenção da energia, o processo de desenvolvimento da pesquisa e os resultados obtidos.

1.1 Potencial oceânico

Segundo dados da International Renewable Energy Agency – IRENA (IRENA, 2020), o potencial teórico estimado para o aproveitamento das energias oceânicas é da ordem de $76.350 \text{ TWh.ano}^{-1}$. Esse potencial é subdividido em $1.200 \text{ TWh.ano}^{-1}$ de energia maremotriz de amplitude, $29.500 \text{ TWh.ano}^{-1}$ de energia ondomotriz, $44.000 \text{ TWh.ano}^{-1}$ de energia do gradiente de temperatura e $1.650 \text{ TWh.ano}^{-1}$ do gradiente de salinidade, os quais são apresentados graficamente conforme a Figura 2a (IRENA, 2020).

Atualmente, existe uma capacidade instalada e operativa de 534,69 MW em todo o mundo. Essa capacidade se subdivide em cinco formas de aproveitamento de energia, sendo, maremotriz de amplitude (barramento), responsável por 521,50 MW do total instalado, cinética de corrente responsável por 10,60 MW, ondomotriz por 2,31 MW, gradiente de temperatura com 0,23 MW e gradiente de salinidade com 0,05 MW. As proporções são apresentadas graficamente pela a Figura 2b (IRENA, 2020). Entretanto, para o cenário de curto prazo, será agregado mais 1.907 MW de energia de corrente de maré e 149,7 MW de energia ondomotriz. O que fará com que o montante da capacidade instalada seja de 2.591,36 MW. Estima-se que até 2030, a energia oceânica atinja 10 GW de potência instalada (IRENA, 2020). O potencial teórico oceânico calculado para o Brasil é da ordem de 114 GW, distribuídos em cinco regiões e duas formas de conversão de energia, conforme apresentado na Figura 2c, em uma adaptação de (TOLMASQUIM, 2016).

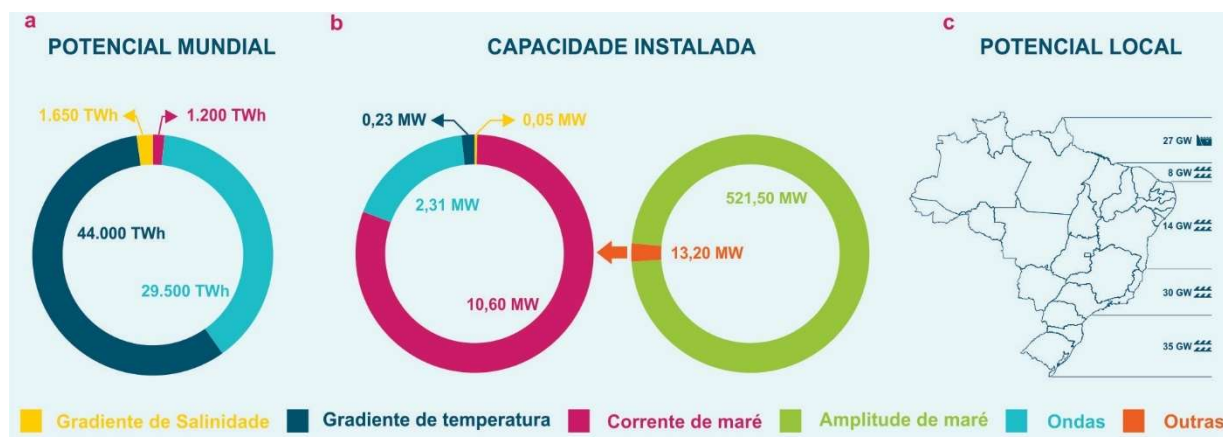


Figura 2 - Potencial teórico global e local de energias oceânicas.

2.0 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo parte da prospecção e quantificação de localidades propícias à implantação de parques geradores ondomotrizs no Estado do Rio de Janeiro. Como dispositivo conversor, foi selecionado o tipo coluna de água oscilante (CAO) costeiro (onshore). Esses dispositivos consistem em uma câmara hidropneumática preenchida com ar, e que por meio de uma abertura voltada para o oceano, permite que a ação de elevação e rebaixamento de uma onda, exerça uma força de pressurização e despressurização dessa câmara, forçando na saída do ar deslocado a acionar uma turbina (FALCÃO, 2010; GARRIDO et al., 2015; LEKUBE et al., 2018). A instalação do dispositivo requer que a área seja de encosta rochosa, para sua construção ou fixação. Essas áreas, em sua maioria, possuem uma declividade mais acentuada, o que também é requerido, pois além de permitir a instalação da porção submersa do dispositivo, também contribui com uma menor dissipação da energia pelo atrito com o fundo. Para tanto, foi realizado o levantamento georreferenciado do litoral carioca com a determinação do potencial energético de geração.

2.1 Levantamento georreferenciado

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o software QGIS 3.10 Coruña®, como ferramenta de georreferenciamento para determinar os possíveis locais de implantação dos parques geradores ondomotrizs. Inicialmente, foi realizado um levantamento dos dados geográficos disponíveis nas Autarquias, Agências e Ministérios. Os dados coletados servem de suporte para orientar o levantamento e formaram as seguintes camadas vetoriais: i) divisão territorial das unidades estaduais da Federação (IBGE, 2021); ii) perfil detalhado da costa brasileira (CPRM, 2021); iii) batimetria oceânica com curvas de nível de 20 em 20 metros (CPRM, 2021); iv) geolocalização dos recifes de corais e ilhas (INDE, 2021); e v) unidades de conservação ambiental (IBGE, 2021). O levantamento teve início no extremo sul do Estado do Rio de Janeiro, na coordenada (23°22'3.022" S; 44°43'27.19" W) e se estendeu até o ponto mais norte do litoral, na coordenada (21°18'41.72" S; 40°57'28.94" W). Para a execução do levantamento foi realizada uma varredura manual de 1km em 1km, em toda a extensão litorânea, identificando pontos de afloramento rochoso com declividade acima de 0,01 m/m. Camadas vetoriais suplementares foram utilizadas para a coleta dos dados. Quando da identificação positiva de um ponto, foi realizada a coleta das coordenadas geográficas, seguida da contabilização da extensão do local e cálculo da declividade a partir do centroide do vetor de extensão. A pesquisa resultou em um mapa georreferenciado e um arquivo de dados com as localidades propícias.

2.2 Determinação do potencial energético

Partindo de estudos apresentados na literatura, foi realizado um levantamento da climatologia de ondas pertinente ao litoral do Estado do Rio de Janeiro, afim de determinar a Altura Significativa (HS) e o período de pico (Te) característicos a área de estudo. A Altura Significativa é definida como sendo o parâmetro do espectro de ondas que representa a média das alturas do terço (1/3) superior da amostra, sendo um dado estatístico, diferente da altura de onda individual (H). Já o período de pico, se refere ao tempo necessário para uma onda se deslocar em um determinado comprimento de crista a crista (DEAN; DALRYMPLE, 1991, p. 188). Em PIANCA, MAZZINI e SIEGLE (2010), os autores procederam com uma reanálise do clima de ondas brasileiro utilizando 11 anos de dados pretéritos (1997 a 2007) do modelo de ondas WaveWatch III (TOLMAN, 2014). Os autores subdividiram o litoral em seis setores ao longo da quebra da plataforma continental brasileira, estando o Estado do Rio de Janeiro incluído na região Sudeste (W2). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1 na forma de média aritmética dos valores sazonais. Os autores concluíram que há uma diminuição nos níveis de energia do sul para o norte, ao longo de toda a costa brasileira. Mostrando que nos setores W1 a W4 (do extremo sul do Rio Grande do Sul até o norte de Alagoas), as ondas são mais energéticas no período de inverno e nos setores W5 e W6 (do Norte de Alagoas ao Amapá), ondas são mais energéticas no período de verão. ESPINDOLA (2017), também realizou uma reanálise do clima de ondas, tendo como entrada do modelo, 35 anos de dados pretéritos do projeto ERA-Interim (1979 a 2014). O autor utilizou 49 pontos ao longo de toda a costa brasileira (RJ, 33 a 39) e determinou as alturas significativas e períodos de pico, apresentando os resultados em dados relativos à média da amostra (Tabela 1) e do percentil de 95%

(ESPINDOLA; ARAÚJO, 2017). CARVALHO (2010), também realizou um estudo sobre a climatologia do litoral brasileiro, com uma série de 12 anos de dados pretéritos do modelo WaveWatch III (1997 a 2009). O estudo foi separado em 10 áreas de semelhanças referentes aos seus sistemas de ondas, estando o Estado do Rio de Janeiro situado na área 4 (A4). O autor caracterizou o clima de ondas determinando as alturas significativas e os períodos de pico, como também a média mensal e anual da energia das ondas (Tabela 1). A Figura 3a, apresenta os pontos de levantamento da climatologia de ondas e suas correlações, já a Figura 3b, apresenta o detalhamento dos pontos específicos ao Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 1 - Altura significativa (HS) média para o litoral do Rio de Janeiro.

Correlação entre pontos			HS médio [m]			HS [m]
ESPINDOLA	CARVALHO	PIANCA	ESPINDOLA	CARVALHO	PIANCA	Média
P33	P17	A4	1,72	1,43	1,95	1,70
P34	P18					
P35	P19					
P36	P20					
P37	P21					
P38	P22					
P39	P23					

Fonte: (CARVALHO, 2010; ESPINDOLA, 2017; PIANCA; MAZZINI; SIEGLE, 2010).

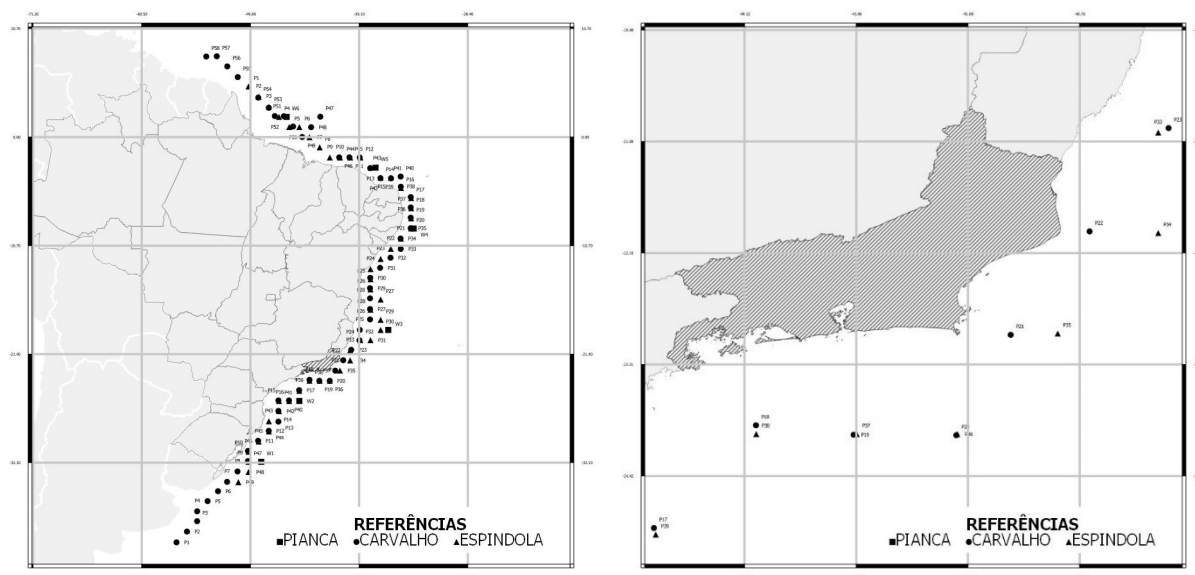


Figura 3 - Levantamento da climatologia de ondas para o Estado do Rio de Janeiro.

Uma onda possui energia potencial e energia cinética, ambas são obtidas em função da altura da onda (H), da densidade da água do mar (ρ) e da aceleração da gravidade (g), sendo expressas pelas Equações (1 e 2 a seguir). Sendo um sistema conservativo, a energia total, ou seja, a Densidade Energética disponível (Equação (3)) é obtida pela soma das energias potencial e cinética, sendo expressa em $[N/m^2]$ (DEAN e DALRYMPLE, 1991; KHALIGH e ONAR, 2010).

Energia Potencial	Energia Cinética	Densidade Energética
$EP = \frac{1}{16} \rho g H^2$	$EP = \frac{1}{16} \rho g H^2$	$E = EP + EC = \frac{1}{8} \rho g H^2$
(1)	(2)	(3)

Para a determinação do Fluxo Energético (Ef), que representa a quantidade de energia disponível por metro de frente de onda $[W/m]$, é necessário multiplicar a Densidade Energética pela velocidade de grupo C_g $[m/s]$, que por sua vez é um fator da celeridade da onda dada por $C = \omega/k$, onde $C_g = nC$ (Equação (4)) (DEAN; DALRYMPLE, 1991). Segundo DEAN e DALRYMPLE (1991, p. 98), o fator n assume o valor de 1/2 para águas profundas e valor 1 para águas rasas. Isso quer dizer que, em águas profundas a energia é transmitida à metade da celeridade das ondas, enquanto em águas rasas a energia viaja à mesma velocidade das ondas. Porém, o estado de mar real é descrito como a soma de um grande número de ondas regulares que possuem diferentes frequências, amplitudes e direções. Sendo melhor descrita pela variação espectral da função de densidade ou espectro de onda 2D, $S(f, \theta)$ (Equação (5)) (CORNETT, 2008 apud FLEMING, 2012).

Fluxo Energético (Ef) – onda solitária	Fluxo Energético (Ef) – espectro de ondas
$Ef = EnC = \left(\frac{1}{8}\rho g H^2\right) \cdot \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)}\right) \cdot \frac{\omega}{k}$	$Ef = \int_0^\infty \rho g E(\omega) \cdot \frac{1}{2} \frac{\omega}{k(\omega)} \left(1 + \frac{2k(\omega)h}{\sinh(2k(\omega)h)}\right) d\omega$
(4)	(5)

Para análise do fluxo de energia em um espectro, considera-se a energia total (cinemática e potencial) por unidade de área como a integral da densidade energética em função do espectro de ondas θ (HOLTHUIJSEN, 2007 apud CARVALHO, 2010), apresentada na Equação (6).

$Ef = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e$	(6)
---	-----

Sendo: Ef estabelecido para águas profundas no ponto de análise espectral, k o número de onda dado por ($k = 2\pi/L$), ω a frequência angular ($\omega = 2\pi/T$), h a profundidade local, L o comprimento da onda ($L = (gT^2)/2\pi$) e T o período da onda. O desenvolvimento matemático é demonstrado em FOLLEY (2017).

Portanto, considerando a altura significativa média (H_s) para o Estado do Rio de Janeiro como 1,70m (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) a um período de pico de 9 segundos, é calculado o valor do Fluxo Energético (Equação (6)) correspondente ao litoral paulista como sendo de 12,82 kW/m.

O clima de ondas, o dimensionamento geométrico da câmara de captura e o rendimento da turbina são os fatores que determinam rendimento global de um dispositivo coluna de água oscilante. Para equipar o dispositivo CAO, turbinas de fluxo reversível, auto retificadoras, são a opção mais aceita até o momento (FALCÃO, 2010), podendo ser citada a Turbina Wells e suas variantes (SHEHATA, 2016), a Turbina de ação com pás guias e a Turbina bi-radial (LOPES, 2017). A Turbina Wells é uma máquina de fluxo axial, geradora, que utiliza pás de aerofólio simétrico, dispostas radialmente a 90°. A força tangencial produzida pelo escoamento nas pás do rotor depende apenas do ângulo de incidência do escoamento relativo, independentemente do sentido do escoamento (FALCÃO e HENRIQUES, 2016). Em FALCÃO, HENRIQUES e GATO (2018), os autores analisaram comparativamente modelos de turbinas auto-retificadoras para determinar sua eficiência, e concluíram uma eficiência entre 53,8% e 63,7% ($\bar{\eta} = 59,04\%$) para Turbinas Wells monoplano sem aletas guia (a depender da solidez do rotor e número de pás), de 62,5% a 70,1% ($\bar{\eta} = 66,3\%$) para Wells monoplano com aletas, bi-plano $\bar{\eta} = 53,35\%$ e contra-rotativa $\bar{\eta} = 60,9\%$. Os autores também concluíram que a Turbina Wells monoplano sem pás direcionadoras é a mais barata do conjunto apresentado e o uso das aletas só se justifica após uma análise de custo e retorno de investimento, pois seu ganho de eficiência em relação ao modelo sem aletas é de apenas 10%. Em DIZADJI e SAJADIAN (2011), os autores afirmam que a eficiência geral de um CAO depende das eficiências individuais da coluna de ar oscilante e da própria turbina. No seu estudo sobre a geometria da câmara, os autores concluem um rendimento global de 32% para a melhor geometria, com angulação de 30° em relação ao plano vertical. IBARRA-BERASTEGI *et al.* (2018), analisaram o desempenho da Usina Ondomotriz de Mutriku entre os anos de 2014 e 2016, concluíram um rendimento global de conversão de 41%. Em BABARIT (2015), o autor realizou um estudo comparativo sobre rendimento de conversores ondomotriz e sua largura de captura, apresentando os rendimentos globais de diversos CAO's. No seu estudo (BABARIT, 2015, p. 612), o autor aponta rendimentos globais de variando de 7% a 20% para CAO's de primeira geração e de 22% a 72% para CAO's de terceira geração, de onde pode se observar uma média geral de aproximadamente 44% de rendimento global, o qual foi adotado para a realização deste estudo.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A prospecção de parques geradores ondomotriz resultou em 88 localidades apropriadas que apresentaram correspondência positiva quanto às especificidades de instalação dispositivos CAO costeiro. A varredura se iniciou ao sul do Estado do Rio de Janeiro, na coordenada (23°22'3.022" S; 44°43'27.19" W) e se estendeu até o ponto mais norte do litoral, na coordenada (21°18'41.72" S; 40°57'28.94" W). A Figura 4, apresenta os sites identificados e o agrupamento pelas Regiões Sul Fluminense, Metropolitana, Baixada Fluminense e Norte Fluminense, com a apresentação dos valores agrupados pela Tabela 2.

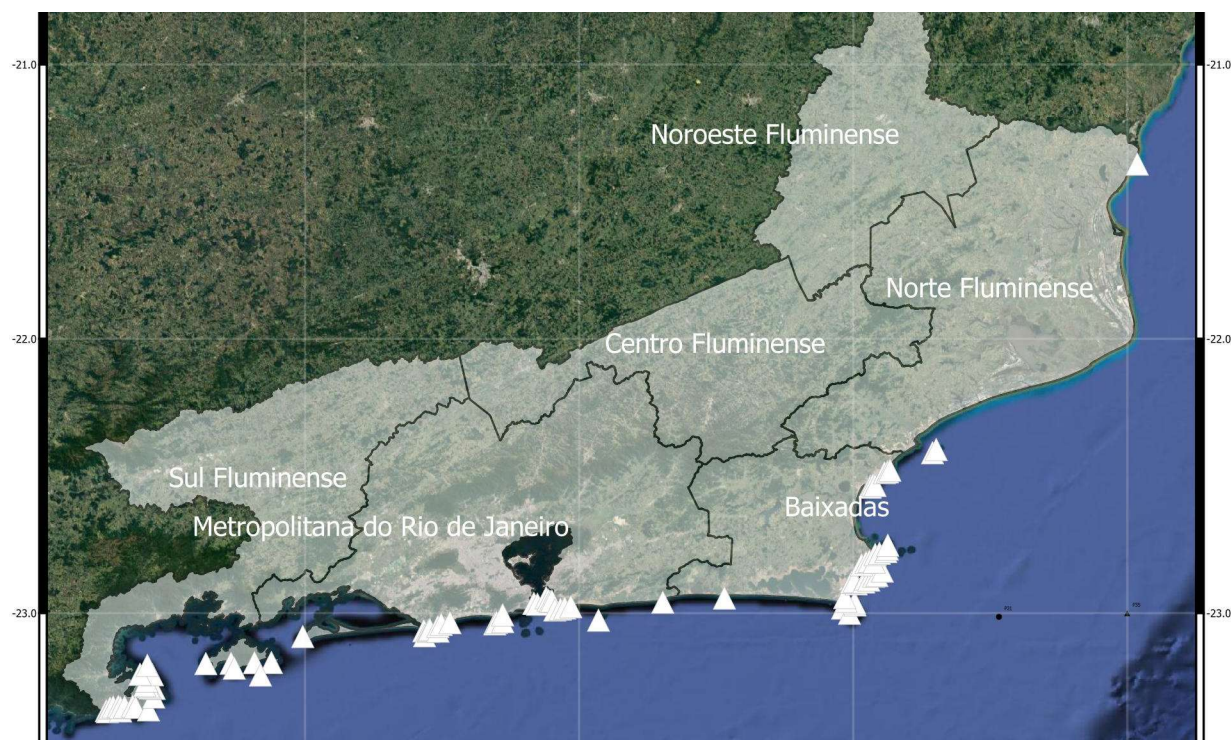


Figura 4 - Localização regional dos parques identificados.

Tabela 2 - Secção Regional das localidades identificadas.

REGIÃO	COORDENADAS		LOCAIS
Região Sul Fluminense	23°22'2.803"S, 44°43'27.23"W	23°02'2.172"S, 44°09'56.37"W	27
Região Metropolitana	23°02'2.172"S, 44°09'56.37"W	22°56'15.11"S, 42°38'28.45"W	25
Região Baixada Fluminense	22°56'15.11"S, 42°38'28.45"W	22°25'1.825"S, 41°49'5.156"W	33
Região Norte Fluminense	22°25'1.825"S, 41°49'5.156"W	21°18'40.82"S, 40°57'30.01"W	3

3.1 Potencial energético disponível

Considerando a extensão total do litoral do Estado do Rio de Janeiro, que é de 636 km, verifica-se por meio da Equação (6) que a potencialidade total estimada para o Estado é de 70.446 GWh.ano⁻¹, para o Fluxo Energético (Ef) de 12,82 kW/m. Considerando apenas a potencialidade dos aproveitamentos ondomotrizs, cujo rendimento aplicado foi de 44% condizendo com os resultados obtidos por BABARIT (2015), obtém-se o valor de 12.480 GWh.ano⁻¹. A Tabela 3 apresenta o valor energético apurado para cada município que apresentou área propícia a implantação de parques ondomotrizs. A Figura 5 apresenta o potencial total para o Estado, bem como os aproveitamentos ondomotrizs distribuídos ao longo do ano e sua curva de sazonalidade.

Tabela 3 - Potencial energético disponível

CIDADE	ENERGIA [GWh.ano ⁻¹]
Paraty	3.724
Angra dos Reis	2.699
Mangaratiba	311
Rio de Janeiro	921
Niterói	527
Maricá	264
Saquarema	10
Arraial do Cabo	1.239
Cabo Frio	995
Armação dos Búzios	1.180

Rio das Ostras	277
Macaé	306
São Francisco de Itabapoana	27
TOTAL	12.480

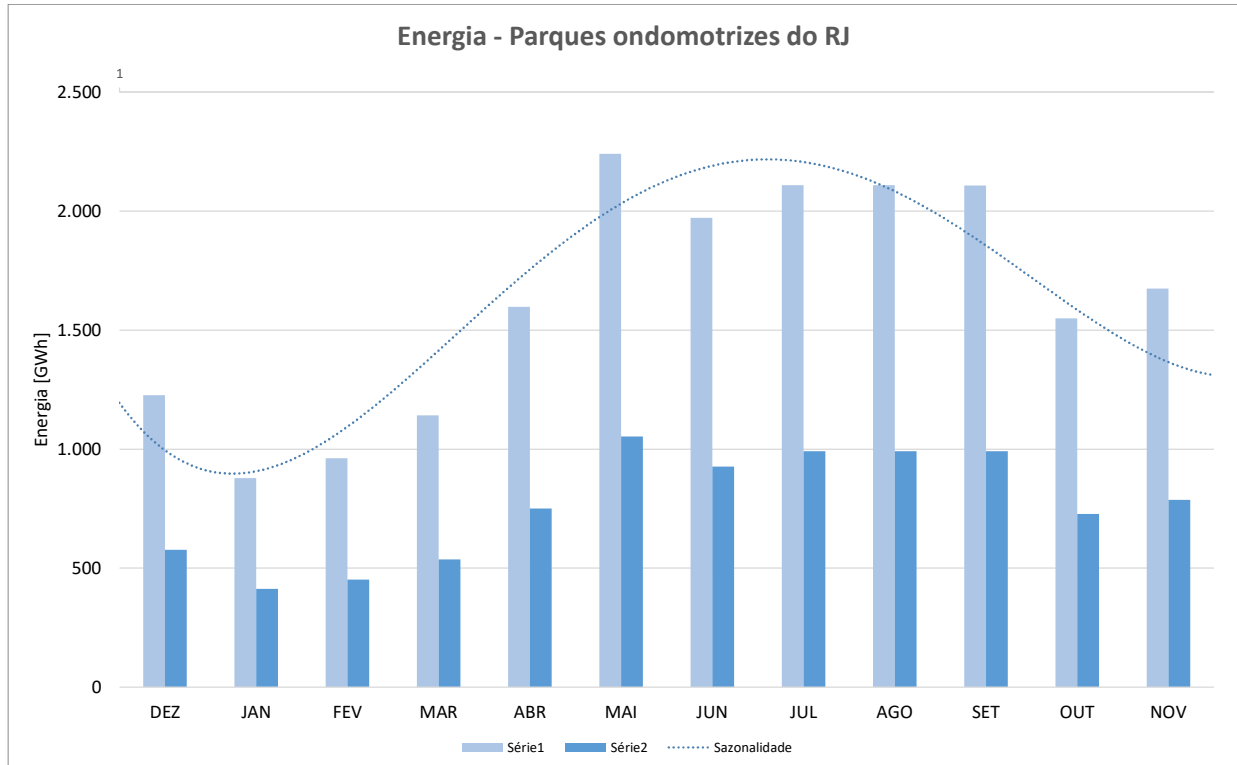


Figura 5 - Energia acumulada e sazonalidade dos parques do Rio de Janeiro.

4.0 CONCLUSÕES

O Estado do Rio de Janeiro possui extensão geográfica de 43.750 km² com uma população de 17.366.189 habitantes, densidade demográfica de 365,23 hab/km² e um PIB de 758,85 bilhões de reais. Em 2019, seu consumo de eletricidade foi de 39.244 GWh, sendo 28.405 GWh no mercado cativo e 10.839 GWh no livre, sendo todo ofertado pelo Subsistema Sudeste/Centro-Oeste. O Estado possui uma capacidade instalada de 8,79 GW e gerou 51.725 GWh em 2019. Na geração distribuída, RN ANEEL 482, o Estado possui 23.173 unidades geradoras e uma potência instalada de 226,16 MW. O inventário do potencial ondomotriz apresentou 88 localidades propícias a instalação de parques geradores, sendo que 54% do potencial se encontra na Região Sul Fluminense, 14% na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, 30% na Baixada Fluminense e 3% no Norte Fluminense. Se todo o potencial teórico do litoral carioca (70.446 GWh) fosse explorado, a um rendimento de conversão de 44%, o resultado energético corresponderia a 80% de todo o consumo atual do Estado. Analisando somente o resultado obtido do levantamento ondomotriz, objeto deste estudo (12.480 GWh), a implantação dos parques ondomotriz correspondiam a 32% do consumo local atual, o que viria a contribuir significativamente com o balanço energético do Subsistema Sudeste/Centro-oeste.

Nos últimos vinte anos, intensificou-se o processo de diversificação da matriz, que hoje conta com empreendimentos eólicos, solares, biomassa e gás natural. A inserção da geração oceânica poderia contribuir significativamente com o planejamento energético futuro, uma vez que esta é limpa, renovável, descentralizada e está estrategicamente posicionada próxima aos maiores polos consumidores. Comparativamente, todo o potencial ondomotriz levantado corresponde a 77% da geração somada das Usinas Nucleares de Angra I e II.

Novas tecnologias emergentes, mesmo que disruptivas, como é o caso das energias oceânicas, devem fazer parte recorrente da pauta do Planejamento, bem como a criação de um arcabouço regulatório próprio com incentivos voltados a sua maturação e consolidação. Na Europa, a energia oceânica já é objeto de estudos a quase 50 anos e possui uma Agência de Fomento própria, além de verba destinada exclusivamente para o seu desenvolvimento. Fomentar o desenvolvimento e a implantação desta fonte nos dias de hoje irá contribuir com a Transição Energética nacional e o processo de maturação da tecnologia, propiciando redução no custo de implantação tornando-a competitiva no mercado.

5.0 BIBLIOGRAFIA

- BABARIT, A. A database of capture width ratio of wave energy converters. **Renewable Energy**, v. 80, p. 610–628, ago. 2015.
- CARVALHO, Jonas Takeo. **Simulação da distribuição de energia das ondas oceânicas ao largo do litoral brasileiro**. 2010. 167 f. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2010.
- CORNETT, Andrew M. A Global Wave Energy Resource Assessment. 2008, Vancouver: [s.n.], 2008.
- CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **GeoSGB**. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 6 maio 2021.
- DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. **Water wave mechanics for engineers and scientists**. 1. ed. New Jersey: World Scientific Publishing Co., 1991.
- DIZADJI, Nader; SAJADIAN, Seyed Ehsan. Modeling and optimization of the chamber of OWC system. **Energy**, v. 36, n. 5, p. 2360–2366, maio 2011.
- ESPINDOLA, Rafael Luz. **Mapeamento de sites com potencial para geração de energia ondomotriz por meio de análise de decisão multicritério**. 2017. 1–241 f. Universidade Federal de Pernambuco, 2017.
- ESPINDOLA, Rafael Luz; ARAÚJO, Alex Maurício. Wave energy resource of Brazil: An analysis from 35 years of ERA-Interim reanalysis data. **PLOS ONE**, v. 12, n. 8, p. e0183501, 17 ago. 2017.
- FALCÃO, A. F. O. Wave energy utilization: A review of the technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 899–918, abr. 2010.
- FALCÃO, A. F. O.; HENRIQUES, J. C. C.; GATO, L. M. C. Self-rectifying air turbines for wave energy conversion: A comparative analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 1231–1241, ago. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032118302296>>.
- FALCÃO, A. F. O.; HENRIQUES, J. C. C. Oscillating-water-column wave energy converters and air turbines: A review. **Renewable Energy**, v. 85, p. 1391–1424, jan. 2016.
- FLEMING, Fernanda Pereira. **Avaliação do Potencial de Energias Oceânicas no Brasil**. 2012. 100 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- FOLLEY, Matt. The Wave Energy Resource. [S.l.: s.n.], 2017. p. 43–79.
- GARRIDO, Aitor J. et al. Mathematical Modeling of Oscillating Water Columns Wave-Structure Interaction in Ocean Energy Plants. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2015, p. 1–11, 2015.
- HOLTHUIJSEN, H. **Waves in Oceanic and Coastal Waters**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2007.
- IBARRA-BERASTEGI, Gabriel et al. Electricity production, capacity factor, and plant efficiency index at the Mutriku wave farm (2014–2016). **Ocean Engineering**, v. 147, p. 20–29, jan. 2018.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Portal de mapas do IBGE**. Disponível em:

<<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>>. Acesso em: 6 maio 2021.

INDE, Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. **Portal INDE**. Disponível em: <<https://www.inde.gov.br/>>. Acesso em: 6 maio 2021.

IRENA, International Renewable Energy Agency. **Innovation Outlook: Ocean Energy Technologies**. . Abu Dhabi: [s.n.], 2020.

KHALIGH, Alireza; ONAR, Omer C. Ocean Wave Energy Harvesting. **Energy Harvest. solar, Wind. Ocean energy Convers. Syst.** 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. p. 223–303.

LEKUBE, Jon et al. Output power improvement in oscillating water column-based wave power plants. **Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial**, v. 15, n. 2, p. 145, 5 mar. 2018.

LOPES, B. S. C. **Construção e ensaio de um modelo de turbina de ar auto-retificadora de rotor duplo para sistemas de aproveitamento da energia das ondas**. 2017. 1–126 f. Universidade Técnica de Lisboa, 2017.

PIANCA, Cássia; MAZZINI, Piero Luigi F.; SIEGLE, Eduardo. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 1, p. 53–70, mar. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-87592010000100006&lng=en&tlng=en>.

SHEHATA, Ahmed Samir. **Investigation and Improvement of Wells Turbine Performance: Fluid Analysis & 2nd Law of Thermodynamics Study**. 2016. 1–291 f. University of Strathclyde, 2016.

SMIL, Vaclav. **Energy transitions: history, requirements, prospects**. 1. ed. Santa Barbara: ABC-CLIO, 2010. v. 1.

TOLMAN, H. L. The WAVEWATCH III Development Group: User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 4.18. **Environmental Modeling Center, National Centers for Environmental Prediction, National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce**, 2014.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. 1. ed. Rio de Janeiro - RJ: EPE, Empresa de Pesquisa Energética, 2016. v. 1.

ZABIHIAN, Farshid; FUNG, Alan S. Review of marine renewable energies: Case study of Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2461–2474, jun. 2011.

DADOS BIOGRÁFICOS



Graduado em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, possui Especialização Lato Sensu em Pequenas Centrais Hidrelétricas (UNIFEI 2010). Mestrado em Engenharia de Energia (UNIFEI 2015), na área de Planejamento e Gestão de Sistemas Energéticos. Doutorado em Engenharia Mecânica pela UNIFEI (atual) na área de Flúidos e Máquinas de Fluxo, ênfase em Planejamento Energético. Possui experiência na área de Pequenas e Micro Centrais Hidrelétricas - PCH & CGH - especialmente em geração descentralizada, avaliação técnica e financeira de projetos de geração, projetos hidroelétricos, gestão de recursos hídricos, uso racional, hidrometria, hidrologia e eficiência e otimização de sistemas hídricos e energéticos industriais.

(2) CARLOS BARREIRA MARTINEZ

Engenheiro Civil (1984), mestre (UNIFEI / 1988) e doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos (UNICAMP - 1994). Atuou como professor na Escola de Engenharia da UFMG de 1994 a 2017. Fundador e Coordenador do CPH/UFMG até 2017. Professor Titular IEM / UNIFEI e do PPGMEC / UFMG. Foi bolsista do Programa Pesquisador Mineiro (PPM) 2009 / 2017. Bolsista de Produtividade CNPq de 2012 até a atualidade (1B). Tem experiência na área de Fontes Renováveis de Energia e Planejamento Energético. Atua em PCHs, mecanismo de transposição de peixes, mexilhão dourado, sistema fluído mecânicos, modelagem física e sistemas de repulsão de peixes em turbinas.

(3) DIEIMYS SANTOS RIBEIRO

Mestrando no curso de Mestrado em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Possui Especialização em Arquitetura e Infraestrutura de Redes pela FAVENI (2020), graduação em Automação Industrial pelo Centro Universitário de Itajubá (2015). Possui curso Técnico em Mecatrônica pelo Colégio de Itajubá (2008) e formação no curso de Aprendizagem Industrial em Eletroeletrônica pelo Senai (2006). Atualmente é Servidor Técnico na (UNIFEI). Possui experiência na área de Elétrica, com ênfase em Geração Hidrelétrica e Transmissão de energia. Presta apoio a atividades acadêmicas e de pesquisa na instituição para desenvolvimento de novas tecnologias.

(4) LUCAS NEVES BRAGA SOARES RIBEIRO

Graduando em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal de Itajubá (Previsão de conclusão: 2021). Tem interesse na área de Projetos mecânicos, hidráulica e geração de energia; Fez parte de dois grupos de pesquisas, onde através de Três Iniciações Científicas, estudou: sinterização e Metalurgia do Pó; Mecânica dos fluidos; e Solução de problemas na geração de energia hidrelétrica no Brasil. Ensino Médio pela Colégio Anglo Cosmópolis (2015).