

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TURBINAS HIDROCINÉTICAS  
APLICADO AO RIO PARAÍBA DO SUL**

**Daniel Rema Esteves**

**Jean Pierre Júlio Silva**

**Kenge Valente Jorge**

**Volta Redonda – RJ**

**2020**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TURBINAS HIDROCINÉTICAS  
APLICADO NO RIO PARAÍBA DO SUL**

Projeto de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da UniFoa como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

**Volta Redonda – RJ**

**2020**

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Alunos:

Daniel Rema Esteves

Jean Pierre Júlio Silva

Kenge Valente Jorge

## **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TURBINAS HIDROCINÉTICAS APLICADO NO RIO PARAÍBA DO SUL**

Orientador:

Professor Alexandre Habibbe.

Banca Examinadora:

---

Prof. Alexandre Habibbe

---

Prof. Alexandre Palmeira

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradecemos a Deus que nos deu força para persistir e enfrentar nossas dificuldades até chegarmos ao fim desta jornada, com o sucesso e o sentimento de missão cumprida.

Aos nossos pais, familiares e amigos, que em nossa jornada acadêmica sempre nos apoiaram e nos fizeram entender que a dedicação, somada ao respeito e ao trabalho em equipe em nosso presente, é o que determinará o sucesso em nosso futuro.

Agradecemos a todos os professores, pois mesmo em períodos de quarentena e distanciamento social, nos proporcionaram o conhecimento técnico com grande sabedoria, entusiasmo e total dedicação no processo de formação profissional.

Em especial ao nosso orientador, que com muita seriedade e lucidez nos acompanhou, se dedicando e se prontificando a nos ajudar em nosso projeto.

Ao professor, Eng. Marcus Vinicius Faria de Araujo por nos orientar na questão ambiental e ecológica.

Ao Eng. Felipe Abrantes, por estar nos elucidando e orientando em relação aos dados hidrofluviométricos do Rio Paraíba do Sul.

Por fim, a todos os funcionários da instituição, que de alguma forma, direta ou indiretamente, fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

A todos, o nosso muito obrigado.

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos esse projeto primeiramente a Deus, pois Ele é a causa primordial de todas as coisas, aos nossos pais, pelo amor e apoio em todos os momentos de nossas vidas.

## RESUMO

O projeto tem por objetivo estudar os quesitos energético, econômico e ambiental entre duas turbinas hidrocínéticas, num cenário onde seriam instaladas em um trecho do Rio Paraíba do Sul, a fim de analisar a viabilidade do aproveitamento desse recurso hídrico natural para geração de energia elétrica em centros urbanos. Conforme os dados foram levantados, foi escolhido um trecho do rio que corta a cidade de Volta Redonda na Av. Alm. Adalberto de Barros Nunes, bairro Jardim Cidade do Aço, próximo a barragem da CSN, para a realização do estudo. Foram utilizados dois modelos distintos de turbinas disponíveis no mercado, cujas especificações de trabalho se enquadrassem nas proporções e características do rio, sendo elas a Turbina Smart Monofloat (5KW), de menor porte, e a turbina HydroQuest River 1.50 (40KW), de maior porte. O grupo desenvolveu os cálculos de acordo com os dados fornecidos por empresas concessionárias, sites e aplicativos de visualização e mapeamento por satélite. A comparação entre esses dois modelos envolveu a conscientização e análise de normas ambientais, cálculos físicos e econômicos, comparando os dois equipamentos em todos estes quesitos, analisando sua viabilidade em um cenário real e específico, a partir de valores de mercado reais atualizados.

**Palavras chaves:** Turbina hidrocínética. Rio Paraíba do Sul. Viabilidade.

## ABSTRACT

The present paper aims to study the energy, economic and environmental issues between two hydrokinetic turbines, in a scenario where they would be installed in a stretch of the Paraíba do Sul River, in order to analyze the using feasibility of this natural water resource for generating electricity in urban centers. As the data was collected, a section of the river that crosses the city of Volta Redonda on Av. Alm. Adalberto de Barros Nunes, Jardim Cidade do Aço neighborhood, near the CSN dam, was chosen to carry out the study. Two different models of turbines available on the market were used, whose work specifications fit the proportions and characteristics of the river, namely the smaller Smart Monofloat Turbine (5KW) and the HydroQuest River 1.50 (40KW) turbine, of larger size. The group developed the calculations according to data provided by concessionaires, websites and satellite visualization and mapping applications. The comparison between these two models involved awareness and analysis of environmental standards, physical and economic calculations, comparing the two pieces of equipment in all these aspects, analyzing their feasibility in a real and specific scenario, based on updated real market values.

**Keywords:** Hydrokinetic turbine. Paraíba do Sul River. Viability.

## LISTA DE ABREVIATURAS

CAPEX - Capital Expenditure

CP - Coeficiente de Potência

FC - Fluxo de caixa

kW - Quilowatt

kWh - Quilowatt-hora

MW- Megawatt

m - Metro

m/s - Metro por segundo

OPEX - Operational Expenditure

TIR - Taxa Interna de Retorno

THC - Turbina Hidrocinética

TWh - Terawatt-hora

UHE - Usina Hidrelétrica

UnB - Universidade de Brasília

VPL - Valor presente líquido

W - Watt

## LISTA DE IMAGENS

Figura 1 – Matriz elétrica brasileira.....	17
Figura 2 – Integração completa do sistema interligado nacional.....	18
Figura 3 – Bacias hidrográficas brasileiras.....	19
Figura 4 – Mapa do potencial estimado em correntes de marés.....	20
Figura 5 – Mapas mundial de rios navegáveis.....	20
Figura 6 – Mapa mundial de declives.....	21
Figura 7 – Castanhão, principal reservatório do estado do Ceará.....	22
Figura 8 – Turbina hidrocínética no Rio Ródano.....	23
Figura 9 – Vista superior turbina hidrocínética no Rio Ródano.....	23
Figura 10 – Turbina Hidrocínética Rio Huayabamba.....	24
Figura 11 – Turbina hidrocínética gen 1, UnB.....	25
Figura 12 – Turbina hidrocínética gen 2, UnB.....	25
Figura 13 – Turbina hidrocínética gen 3, UnB.....	26
Figura 14 – Turbina hidrocínética, Tucunaré.....	27
Figura 15 – Bacia Rio Paraíba do Sul.....	28
Figura 16 – Rio Paraíba do Sul trecho de Volta Redonda.....	29
Figura 17 – Esquema de componentes de uma THC explodido.....	31
Figura 18 – Classificação das THC's.....	31
Figura 19 – Curva Coeficiente de Potência x Velocidade Específica.....	32
Figura 20 – Turbina axial de eixo inclinado.....	32
Figura 21 – Exemplo turbina axial Smart Hydro Power.....	33
Figura 22 – Exemplo turbina de fluxo cruzado h-darrieus Hydroquest.....	34

Figura 23 – Diferentes tipos de turbinas verticais.....	34
Figura 24 – Turbinas Gorlov.....	35
Figura 25 – Turbina tipo Savonius.....	35
Figura 26 – Turbina hidrocínética marítima Verdant Power Gen 4.....	36
Figura 27 – Turbina de fluxo cruzado com ancoragem flutuante.....	37
Figura 28 – Parque hidrocínético flutuante no Rio Ródano.....	37
Figura 29 – Perfil de distância de recuperação.....	38
Figura 30 – Perfil de velocidade de um rio.....	38
Figura 31 – Componentes internos turbina eólica e hidrocínética.....	39
Figura 32 – Turbina Smart Monofloat.....	41
Figura 33 – Gráfico da Curva de Potência de Saída da Turbina Smart Monofloat.....	42
Figura 34 – Turbina Hydroquest River 1.50.....	43
Figura 35 – Barcaça Hydroquest.....	43
Figura 36 – Gráfico da Curva de Potência de Saída da Turbina Hydroquest River 1.50.....	44
Figura 37 – Fluxograma da Metodologia.....	45
Figura 38 – Classificação SLAM.....	50
Figura 39 – Trecho escolhido do Rio Paraíba do Sul.....	51
Figura 40 – Representação gráfica dos dados hidrofluviométricos do rio.....	53
Figura 41 – Gráfico potência média turbina Hydro Smart Monofloat .....	54
Figura 40 – Gráfico potência média turbina Hydroquest River 1.50.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações técnicas da turbina Smart Monofloat.....	42
Tabela 2 – Informações técnicas da turbina Hydroquest River 1.50.....	44
Tabela 3 – Dados hidrofлуviométricos do rio.....	52
Tabela 4 – Resultados CAPEX e OPEX.....	57
Tabela 5 – Fluxo de Caixa Turbina Smart Monofloat.....	59
Tabela 6 – Fluxo de Caixa Turbina HydroQuest River 1.50.....	60

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Contextualização .....	15
1.2. Objetivo .....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. Matriz Energética Brasileira.....	17
2.2. Características da Hidrografia Brasileira.....	19
2.3. Potencial Hidrocinético .....	20
2.3.1. Projetos de Turbinas Hidrocinéticas pelo Mundo .....	22
2.3.1.1. Projetos na França .....	22
2.3.1.2. Projetos no Peru.....	23
2.3.1.3. Projetos no Brasil .....	24
2.4. Rio Paraíba do Sul .....	27
2.5. Turbinas Hidrocinéticas.....	29
2.5.1. Componentes Gerais.....	30
2.5.2. Tipos de Turbinas Hidrocinéticas.....	31
2.5.2.1. Turbinas Axiais de Eixo Inclinado e Turbinas de Fluxo Axial .....	32
2.5.2.2. Turbinas de Fluxo Cruzado .....	33
2.5.2.3. Turbina de Darrieus e Gaiola de Esquilo.....	34
2.5.2.4. Turbina Gorlov .....	35
2.5.2.5. Savonius .....	35
2.6. Tipos de Ancoragem.....	36
2.6.1. Ancoragem Sólida .....	36
2.6.2. Ancoragem flutuante .....	36
2.7. Fazenda de Turbinas Hidrocinéticas.....	37
2.8. Manutenção para Turbinas Hidrocinéticas .....	38

2.8.1. Manutenção Preventiva .....	39
2.8.2. Manutenção Preditiva .....	40
2.8.3. Manutenção Corretiva .....	40
2.9. Turbinas Adotadas .....	40
2.9.1. Turbina Smart Monofloat .....	40
2.9.2 Turbina Hydroquest River 1.50 .....	42
3. METODOLOGIA.....	45
3.2. Levantamento de Dados Hidrometeorológicos do Rio Paraíba do Sul .....	46
3.3. Estudo dos Modelos Atuais de Turbinas Hidrocinéticas.....	46
3.4. Escolha dos Modelos de Turbina com Base nos Dados Coletados do Rio. ....	46
3.5. Comparação Técnica entre Modelos Escolhidos.....	46
3.6. Análise Financeira dos Investimentos nos Projetos Escolhidos.....	46
4. ESTUDO DE CASO .....	47
4.1. Responsabilidade Ambiental .....	47
4.1.2. Código Florestal Brasileiro.....	47
4.1.3. CONAMA .....	48
4.1.4. Sistema de Licenciamento Ambiental .....	49
4.2. Cenário .....	51
4.3. Parâmetros de Estudo .....	52
4.4. Dimensionamento das Turbinas .....	52
4.4.1. Cálculo de Velocidade.....	53
4.4.2. Potência gerada pela Turbina Hydro Smart Monofloat.....	54
4.4.3. Potência Gerada Turbina Hydroquest River 1.50.....	55
5. ESTUDO ECONÔMICO COMPARATIVO .....	55
5.1. Custos da Implementação das Turbinas .....	55
5.2. CAPEX e OPEX.....	56
5.2.1. Custo Energético .....	57

5.2.2. Valor do kW produzido por ano .....	57
5.3. Fluxo de Caixa.....	58
7. CONCLUSÃO.....	61
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização

Nas últimas décadas, a dependência dos combustíveis fósseis foi um tema amplamente discutido no mundo, se fazendo ainda mais urgente e importante nos dias de hoje. Isso se deu porque as grandes organizações internacionais dedicadas a estudos na área de energia têm criado cenários hipotéticos a fim de propor desafios energéticos futuros que o mundo irá enfrentar, assim como estratégias para obtermos um futuro mais sustentável, tendo como base a implementação das fontes de energia renováveis. Foi na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável de 2012, conhecida também como Rio+20, que tais diretrizes tiveram sua análise incluída nos cenários energéticos para 2020, 2030 e 2050, tomando uma escala de relevância mundial (IIASA, 2012). O principal desafio proposto para as próximas três décadas é uma herança da revolução industrial em meados do século XIX, o crescente aumento populacional, que conseqüentemente resulta numa demanda energética maior, no qual representa muitos outros desafios indiretos, mas não menos importantes, como: a reduzir as emissões de gases poluentes, promover mais investimentos em fontes energéticas renováveis, desenvolvimento da eficiência energética, maior acessibilidade à energia para as pessoas, a ampliação da segurança energética para os países. Segundo o relatório da conferência, um maior emprego das energias renováveis num cenário futuro depende da implementação de sistemas de incentivos, que é extremamente importante para favorecer o desenvolvimento de cada tecnologia. Com o fomento destas áreas de pesquisa, os impactos sociais e ambientais podem ser significativos na mudança climática, na geração de emprego e na condição de vida da população. Algumas nações desenvolvidas já começaram com este procedimento, como o caso dos Estados Unidos, e alguns outros, como a Alemanha e a França, se destacam no ramo, com empresas implantando os primeiros projetos em diferentes regiões do mundo. Com esses movimentos, as energias renováveis, têm se destacado devido a todos os seus benefícios para o meio ambiente, mas também por não precisarem de água adicional para sistemas de refrigeração ou com fins de evaporação, como acontece com a geotérmica, usinas de concentração solar ou as opções de base biológica.

O emprego de máquinas hidrocínéticas de pequeno e médio porte não é um novo conceito, porém pesquisar e buscar uma renovação da aplicabilidade desta tecnologia pode significar uma excelente alternativa para a geração de eletricidade sustentável. Em países subdesenvolvidos, muitas comunidades mais remotas sem acesso a rede elétrica, ainda são localizadas ao longo de rios ou mares com condições propícias a implementação de sistemas e

arranjos hidrocínéticos, com baixíssimo impacto ambiental na conversão de energia, baixo custo operacional e manutenção fácil, o que a destaca como um forte expoente dentre as fontes de energia alternativas, sustentáveis (Aneel, 2007).

Seguindo esta idéia, o trabalho irá discorrer sobre a viabilidade mais recorrente dos geradores hidrocínéticos em áreas urbanas que possuam algum recurso hídrico disponível, podendo abastecer condomínios, casas populares ou pequenas e médias indústrias, a fim de explorar o potencial de co-geração de energia sustentável. Ao longo do projeto, apresentaremos dois tipos de turbinas selecionadas, onde estas serão analisadas, sendo considerados dados e propriedades hidrometeorológicos do trecho do Rio Paraíba do Sul que corta a cidade do estado do Rio de Janeiro, Volta Redonda.

## **1.2. Objetivo**

Realizar um estudo comparativo entre duas turbinas hidrocínéticas distintas e analisar a viabilidade energética, econômica e ambiental de sua implantação no Rio Paraíba do Sul.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Matriz Energética Brasileira

No cenário atual, as fontes renováveis de energia representam ao menos uma parcela crescente de 24% da matriz energética mundial, o que ilustra um cenário ainda em crescimento no ramo, sendo essencial o incentivo a fim de fomentar o desenvolvimento de tais tecnologias.

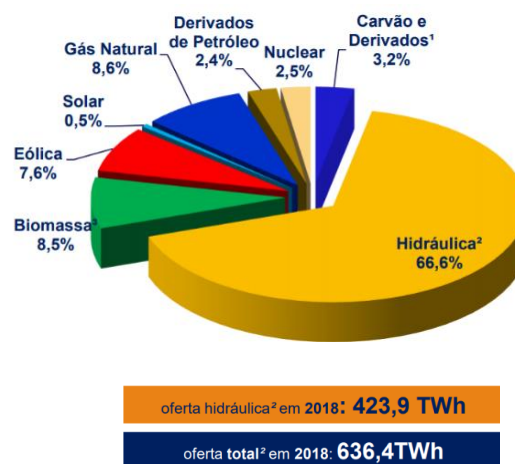
No ano de 2019, a Inglaterra, pela primeira vez na história, conseguiu manter mais fontes renováveis em sua matriz energética, do que de fontes derivadas do petróleo, muito por conta de sua política de incentivos que favoreceu fontes renováveis, como as termoeletricas, solar e eólica.

Segundo uma publicação da ANEEL, em 2019 o Brasil atingiu a marca de 170 GW de capacidade instalada e com cerca de 75% oriundas de fontes renováveis de energia. Deste total de capacidade instalada, mais de 100 GW são fornecidos apenas pela matriz hidrelétrica do país, com grande parte pela UHE Belo Monte (CMSE, 2019).

Neste cenário energético mundial, o Brasil é um dos maiores expoentes, principalmente na produção de energia hidráulica, que associada ao desenvolvimento das fontes solar e eólica e ao futuro uso promissor de baterias, deve se tornar a primeira grande nação do mundo a possuir uma matriz energética 100% renovável, disse o ex diretor de expansão de energia solar da Tesla, Marco Krapels, fundador da Micropower-Comerc no Brasil.

Em 2018, as fontes renováveis somaram 83,3% da matriz energética nacional, devido a postura de grande incremento da geração de energia eólica e hidráulica (EPE-BEN 2019). Deste total, cerca de 66,6% é proveniente da geração de energia hidrelétrica, como mostrado abaixo na figura 1.

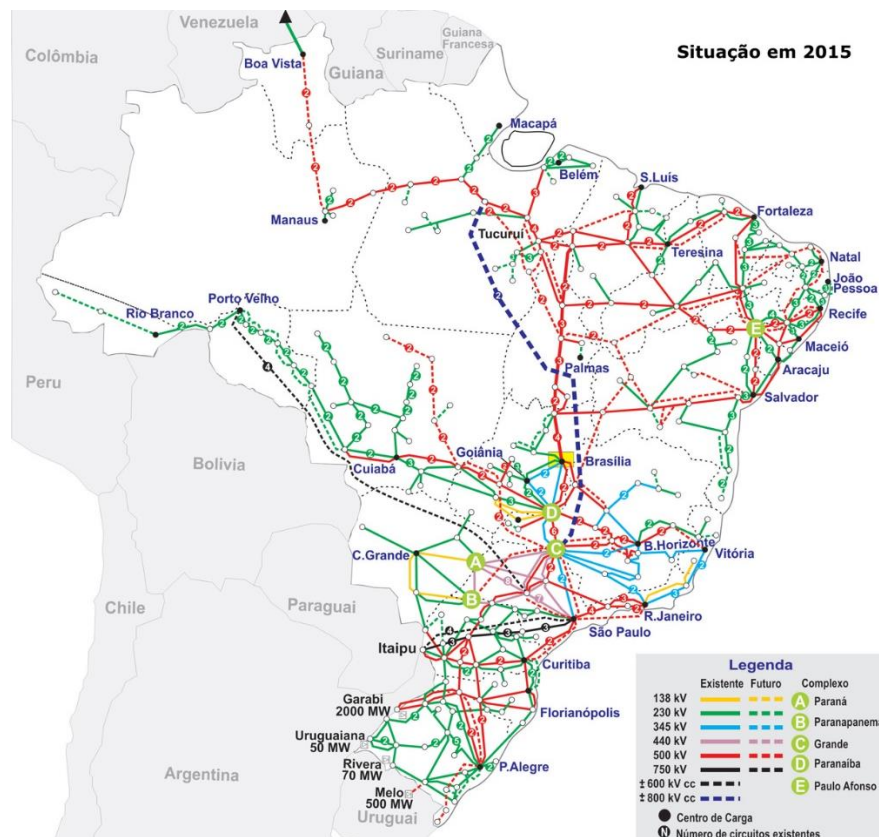
Figura 1 – Matriz elétrica brasileira



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, BEN 2019

Em um país de escalas continentais, como o Brasil, para manejar toda essa demanda de energia espalhada pelo território nacional, uma estrutura única de abastecimento de energia é utilizada. Nomeado de Sistema Interligado Nacional (SIN). O SIN, é dividido em quatro sistemas menores, que são: Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste, Sul e Norte. Deste modo, aproximadamente 97% do total da produção de energia elétrica nacional está integrado no SIN e os 3,4% restantes são provenientes de sistemas de geração isolados. Na figura 2 a seguir o mapa contém as linhas de fornecimento existentes e futuras.

Figura 2 – Integração completa do sistema interligado nacional



Fonte: <https://www.aneel.gov.br/transmissao5>

Através do mapa, notamos que a Região Amazônica possui um enorme potencial hidrelétrico, que pode contribuir para o desenvolvimento da tecnologia e de outras fontes de energia alternativas no país. É possível notar também que a Região Sudeste em geral, apresenta um potencial hidroenergético notável, destacando a região Sul Fluminense, que inclusive possui algumas pequenas centrais hidrelétricas em funcionamento desde 1905, instaladas no Complexo Lages-Light. Todo esse potencial hidrelétrico, pode e deve ser melhor aproveitado,

como mostra os dados crescentes fornecidos pelo EPE anualmente. Mas há também nestas áreas um grande potencial hidrocinético a ser estudado. O desenvolvimento dessa energia renovável e limpa, poderia significar um grande benefício econômico e social, não só para comunidades isoladas, como também para centros urbanos, aproveitando ao máximo o curso hídrico disponível.

## 2.2. Características da Hidrografia Brasileira

Com mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados de extensão territorial, cerca de 55.467 quilômetros quadrados de malha hidrográfica, 7 mil quilômetros de extensão litorânea e relevos de baixa altitude, predominantes em sua geografia, o Brasil é um país privilegiado quando falamos de recursos hidráulicos energéticos naturais (ANEEL, 2002). Com esses números, cerca de 15% das reservas de água doce do planeta estão dentro do território nacional, o que é equivalente a 53% dos recursos hídricos na América do Sul. Outra curiosidade, é que grande parte das fronteiras do país é definida pelo curso de dezenas de rios fronteiriços e transfronteiriços, alguns complexos de bacias hidrográficas e aquíferos (Itamaraty, 2019).

Essa rica diversidade hídrica favorece os rios com maiores profundidades e com grandes dimensões, conseqüentemente possuindo uma gama maior de rios menores afluentes. Para uma melhor administração desses corpos d'água, foram divididas 12 regiões hidrográficas no território brasileiro, todas elas agrupadas por bacias e microbacias, formadas por lagos e rios com grandes, médias e pequenas extensões. A figura 3 a seguir, ilustra as bacias hidrográficas do território brasileiro.

Figura 3 – Bacias hidrográficas brasileiras

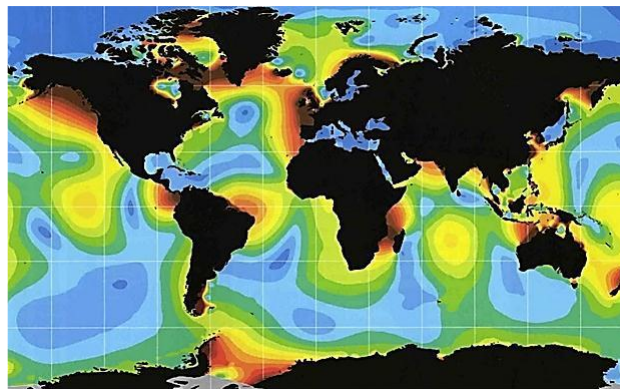


Fonte: [https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/copy\\_of\\_divisoes-hidrograficas](https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/copy_of_divisoes-hidrograficas)

### 2.3. Potencial Hidrocinético

O potencial mundial de produção de energia hidrocinética foi estimado em 2,7 TW (Huang, 2004), e assim os avanços tecnológicos e as pesquisas de demonstração utilizando protótipos de diferentes escalas e potências, vem aumentando a confiança na tecnologia desde então. Nos oceanos, esse potencial está concentrado em algumas regiões onde as correntes são mais intensas, devido a determinadas condições geográficas, vide figura 4 abaixo.

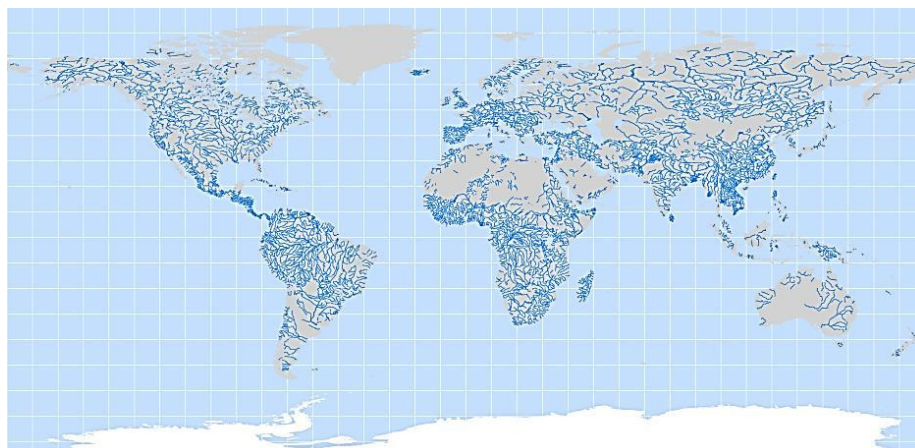
Figura 4 – Mapa do potencial estimado em correntes de marés



Fonte: MINESTO Co. 2014

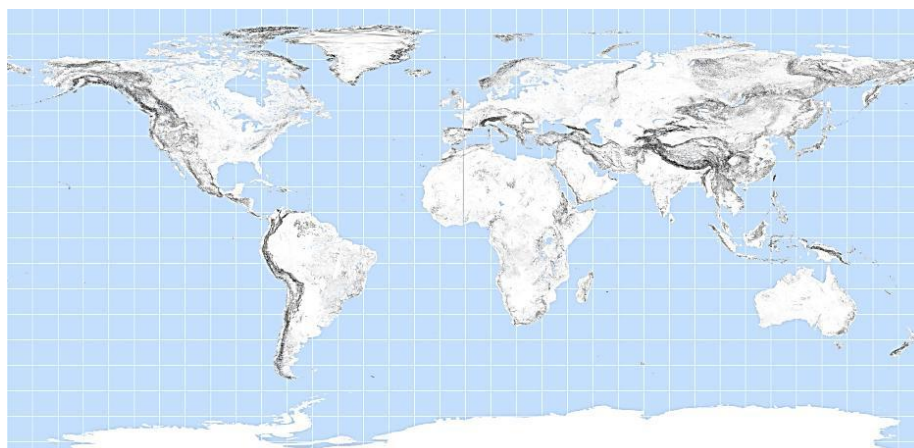
Na parte continental, é notável a quantidade de rios navegáveis existentes em regiões de baixos declive no globo, como mostram as Figuras 5 a seguir, e figura 6 na página seguinte. No entanto, tais dados hidrográficos só podem confirmar um potencial hidrocinético por meio da utilização de ferramentas mais elaboradas, como a batimetria, as modelagens computacionais e os chamados, sistemas de informação geográfica (SIG).

Figura 5 – Mapas mundial de rios navegáveis



Fonte: <https://www.marinevesseltraffic.com/2013/06/navigable-rivers-map.html>

Figura 6 – Mapa mundial de declives



Fonte: <https://www.marinevesseltraffic.com/2013/06/navigable-rivers-map.html>

Essas ferramentas permitem relacionar principalmente informação topográfica com dados hidrodinâmicos, levando em conta o período torrencial nos rios e a interação dos ventos com os oceanos. Assim, nos Estados Unidos, pesquisadores determinaram que o potencial hidrocínético norte-americano estimado dos rios é de 120 TWh/ano, o equivalente a 3% da demanda do país em 1 ano (EPRI, 2012).

Embora dados como estes abram uma porta para o futuro energético mundial com o novo expoente hidrocínético, o crescente consumo energético mundial é uma dura realidade atual. No Brasil no mês de novembro e dezembro de 2019 o ONS previu uma carga de consumo energético de 3,6% e 2,4% maior, respectivamente, que nos mesmos períodos do ano anterior. Acompanhando o ritmo do crescimento econômico e do aumento de renda, o Brasil deve ter um aumento do consumo de energia na ordem dos 60% até 2040, segundo o relatório da companhia britânica, BP Energy, sobre o mercado de energia global. Outros dados importantes e preocupantes também foram constatados no mesmo mês, como uma redução generalizada em todos os reservatórios do país e a situação agravante dos reservatórios do Norte e Nordeste, as principais bacias hidrelétricas do país, chegando a 22,2% e 33,4% respectivamente (CMSE, 2019). Uma destas reservatórios, denominado de represa do Castanhão é retratada neste período de seca na figura 7 na página seguinte.

Figura 7 – Castanhão, principal reservatório do estado do Ceará



Fonte: <http://www.funceme.br/?p=5894>

É principalmente em situações de crise como estas que outras fontes de energia sustentáveis e renováveis são bem vindas para complementar o fornecimento energético do país, dessa forma, fontes como a fotovoltaica, solar, eólica e hidrocínética têm sido favorecidas. Com isso, a produção de energia em massa, em grandes parques solares e eólicos ganham força no Brasil e esse pode também ser o futuro da energia hidrocínética, que poderia ser mais bem explorada tanto em comunidades mais afastadas e ribeirinhas, quanto nos grandes centros urbanos que quase sempre contam com algum recurso hídrico em suas proximidades.

### **2.3.1. Projetos de Turbinas Hidrocínéticas pelo Mundo**

#### **2.3.1.1. Projetos na França**

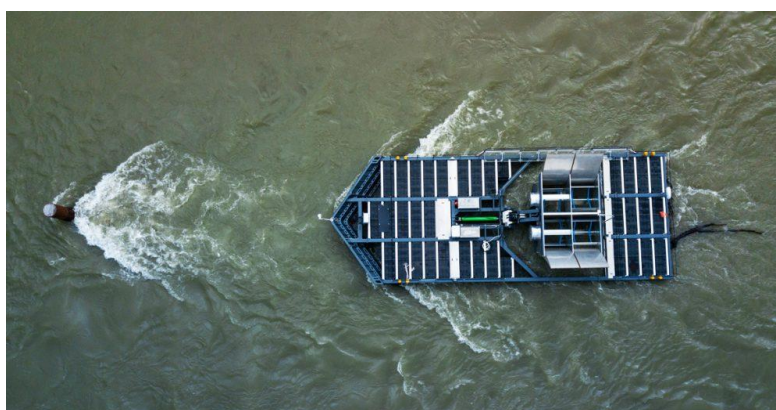
A primeira fazenda ou parque hidrocínético fluvial do mundo foi instalado no rio Ródano, na cidade de Lyon na França. Desde 2014 a empresa HydroQuest, responsável pela produção e implementação das turbinas, estava com o projeto ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, mas como previsto, o parque foi instalado e começou a operar ainda no fim de 2018. Contando com um total de quatro turbinas de 80 KW/h cada, conectadas à rede elétrica, nos próximos 18 anos o parque produzirá 1 GW/h de energia renovável por ano, o suficiente para abastecer mais de 400 residências no município. O parque à hidrocínético respeita a biodiversidade e não prejudica a qualidade da água, pois apenas pontos de ancoragem foram instalados no fundo do rio. As turbinas ilustradas nas figuras 8 e 9 na página seguinte, não emitem ruído e não emitem gases de efeito estufa, evitando assim o equivalente a 300 toneladas de emissão de CO<sub>2</sub> à atmosfera por ano.

Figura 8 – Turbina hidrocínética no Rio Ródano



Fonte: HydroQuest Smart Power Solutions, 2020

Figura 9 – Vista superior turbina hidrocínética no Rio Ródano



Fonte: <https://met.grandlyon.com/des-hydroliennes-sur-le-rhone-une-premiere-mondiale/>

### 2.3.1.2. Projetos no Peru

A comunidade da pequena e isolada vila de Marisol, no Peru, recebeu também uma implantação de geração de energia hidrocínética híbrida com fotovoltaica. A vila está localizada na Amazônia peruana, na região de St. Martin, na margem do rio Alto Huayabamba, e é uma comunidade rural típica com um modelo de negócios. A vila tem aproximadamente 60 famílias com a maioria das pessoas trabalhando na plantação de cacau. Há também uma escola, igrejas e uma oficina básica usada principalmente para carpintaria. Antes da instalação do sistema híbrido da Smart Hydro Power, a comunidade tinha acesso à eletricidade por algumas horas por dia, usando um gerador a diesel.

Com a turbina hidrocínética do modelo Smart Monofloat, somado à energia gerada por oito painéis solares, a vila possui uma potência de abastecimento de 1,2 kW que são

armazenados em baterias e utilizados nas residências, locais públicos e nos maquinários. A figura 10 a seguir retrata o trabalho de instalação do projeto:

Figura 10 – Turbina Hidrocinética rio Huayabamba



Fonte: <https://www.smart-hydro.de/decentralized-rural-electrification-projects-worldwide/peru-rural-electrification/#project>

### 2.3.1.3. Projetos no Brasil

No Brasil não existe ainda nenhuma pesquisa que estime o potencial hidrocinético de todo o país, mas com o surgimento de novas políticas ambientais, como o Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza (SNUC) e o Programa Nacional do Meio Ambiente (PNAMA II), houve grandes incentivos ao setor elétrico no Brasil, o que contribuiu com a temática de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

Com ajuda desses incentivos, a Universidade de Brasília (UnB) se tornou uma pioneira no desenvolvimento da tecnologia hidrocinética, utilizando um Sistema de Informação Geográfica e integrando dados socioeconômicos, seu estudo concluiu que 31 dos 100 municípios estudados, possuem um potencial hidrocinético. Ao longo de quase duas décadas a UnB veio trabalhando no desenvolvimento e aperfeiçoamento de uma turbina hidrocinética e suas pesquisas renderam três gerações destas máquinas.

Seu projeto pioneiro, denominado como a 1 Geração de turbina hidrocinética, foi instalada em Correntina-BA, em 1995, com o intuito fornecer energia elétrica à um posto médico da cidade. A turbina Gen 1 se enquadra nos modelos de rotor axial, possuindo duas pás e contando com uma grade de proteção frontal contra eventuais destroços flutuantes, um estator com pás diretrizes direcionando o fluxo da água que corre através da turbina, otimizando a transformação da energia hidráulica. Nestas condições a máquina gera cerca de 1,5 kW,

atendendo plenamente a necessidade de energia do pequeno posto de saúde até os dias de hoje, passando por um processo de restauração em 2016, como mostra a figura 11 a seguir.

Figura 11 – Turbina hidrocínética gen 1, UnB



Fonte: ACPB Junior, Aneel.gov

A implementação da 2ª geração de turbina hidrocínética em um Assentamento Agroextrativista no Alto Maracá, foi a campanha piloto do projeto Poraquê. Para esta segunda geração da turbina, foi desenvolvido e instalado um difusor que tem a função de gerar uma desaceleração do escoamento na saída da turbina, o que provoca uma região de baixa pressão neste ponto, por sua vez aumentando a velocidade do escoamento na entrada e conseqüentemente o coeficiente de potência da turbina. A figura 12 a seguir, mostra a turbina Gen 2 sendo instalada.

Figura 12 – Turbina hidrocínética gen 2, UnB



Fonte: ACPB Junior, Aneel.gov

Com a energia gerada pela turbina, foi possível realizar a implementação de um secador solar multiuso, utilizado na pré-secagem de castanha-da-amazônia, um processo que inibe a proliferação de fungos, muito comum nestas sementes, melhorando a qualidade do produto. Além disso, a pré-secagem tornará possível um tempo de armazenamento muito maior.

Dando sequência ao Projeto Poraquê, a UnB buscava por uma máquina axial livre com um difusor mais compacto, portátil e com um melhor desempenho hidrodinâmico. Daí então foi concebida a turbina hidrocínética Geração 3 (Figura 13). Nesta turbina, toda sua superfície interna da carcaça age como um difusor, sendo mais eficiente na redução da pressão na saída. O seu gerador também foi integrado ao núcleo, formando um conjunto com o rotor. Esta concepção de seu design hidrodinâmico foi inovadora, e permite uma plena resposta aos objetivos de evolução tecnológica da máquina.

Figura 13 – Turbina hidrocínética gen 3, UnB

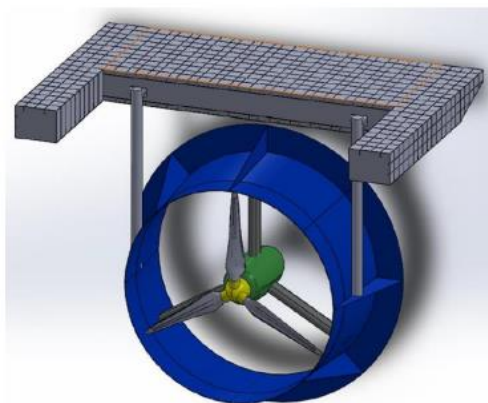


Fonte: ACPB Junior, Aneel.gov

Outro projeto importante foi realizado em 2014, o Projeto Tucunaré foi premiado pela Hydrovision Brazil por suas pesquisas onde apontou um potencial de geração de energia hidrocínética ainda não explorado. Com o avanço do estudo estipulava-se que em um período de cinco anos, o primeiro parque hidrocínético do país fosse instalado no rio Tucuruí (Eletronorte, 2016). Através deste projeto, novos horizontes puderam ser construídos em relação a esta fonte de energia, visando o desenvolvimento de um modelo de turbina hidrocínética de 5 metros de diâmetro, capaz de produzir uma potência de 100 kW, que então seria empregada nos parques hidrocínéticos instalados à jusante do rio Tucuruí, de forma a aproveitar a energia de suas águas vertidas pela represa no canal de fuga com velocidades de 1 a 2,5 metros por segundo, grandezas com um bom potencial para o aproveitamento hidrocínético. Os estudos, entretanto, permitem replicar o projeto para uma configuração com

500 kW de potência (Eletronorte, 2016). A figura 14 a seguir ilustra a turbina do projeto Tucunaré.

Figura 14 – Turbina hidrocínética, Tucunaré



Fonte: CUNHA, 2015

Este tipo de empreendimento envolve esquemas compostos por várias turbinas e representa um desafio devido aos altos custos de fabricação, instalação e operação de todos os equipamentos, no entanto, corresponde a uma alternativa de complementar a geração de energia renovável com melhores eficiências, dispensando a construção de represas, como nas hidrelétricas, poupando gastos financeiros e impactos severos ao meio ambiente.

#### **2.4. Rio Paraíba do Sul**

O Rio Paraíba do Sul tem sua origem no estado de São Paulo, com o rio Paraitinga (Águas Claras em Tupi-Guarani) no município de Areias e apenas passa a se chamar Paraíba do Sul após sua confluência com o rio Paraibuna (Águas Escuras), que nasce na Serra da Bocaina, no município de Cunha (AGEVAP, 2011). Ao longo de seu curso cruza o estado do Rio de Janeiro e Minas Gerais até o oceano atlântico onde vem a desaguar em São João da Barra (RJ), como pode ser visto na figura 15 na página seguinte:

Figura 15 – Bacia Rio Paraíba do Sul

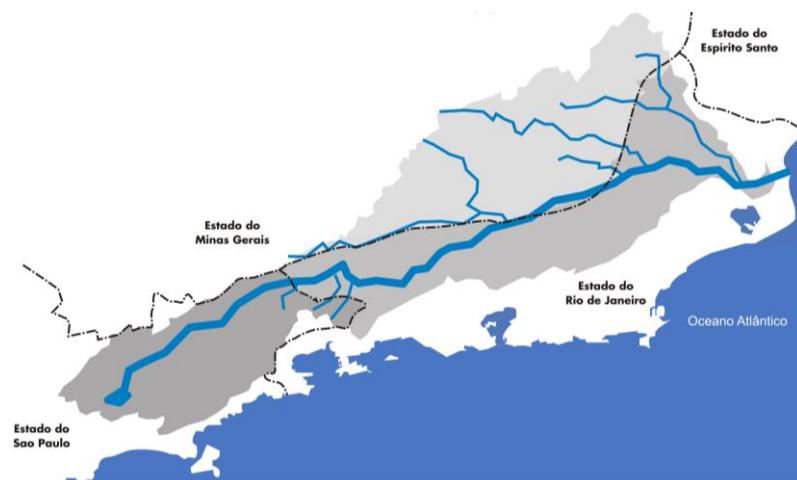


Figura: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/administracao/gestao-dos-recursos-hidricos>

Desde o início de seu curso no estado de São Paulo até a sua foz no norte do estado do Rio de Janeiro, no município de São João da Barra, na praia de Atafona, o Rio Paraíba do Sul percorre um total de 1.150 quilômetros e sua área de drenagem possui cerca de 55.500 km<sup>2</sup> (AGEVAP – 2011).

Devido as grandes proporções de volume de água, sua bacia hidrográfica foi explorado de diversas maneiras ao longo dos anos, tendo seu processo de degradação ambiental sendo desencadeado ainda no século XVII, quando se iniciou a cultura da cana de açúcar no vale do Paraíba paulista e no município de Campos (RJ). Suas águas hoje, são empregadas na irrigação de lavouras, geração de energia elétrica, abastecimento de cerca de 14,2 milhões de pessoas e diluição de esgotos (ANA, Rio Paraíba do Sul, 2019). O rio também comporta importantes represas e reservatórios que auxiliam a geração de energia elétrica, como o reservatório de Paraibuna, Santa Branca e Funil. Além disso, se destaca também pelo desvio de 40% da sua vazão para a bacia hidrográfica do rio Guandu feita em 1920, com a finalidade de gerar energia e abastecer a população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

O rio hoje ainda se encontra com muitas áreas assoreadas, por conta da transposição de suas águas e por causa dos lançamentos irregulares feitos em seu leito ao longo das décadas, mas ao mesmo tempo, muitas ações de fiscalização e proteção do rio tem sido feitas nos últimos anos, como a redução de cargas poluidoras por meio da coleta e tratamento de esgotos domésticos, com levantamentos topográficos, aerofotogramétricos e estudos ambientais de EIA-RIMA (Caderno de Ações CEIVAP, 2019).

Essas medidas de proteção e revitalização do rio são essenciais para a manutenção deste importante recurso hídrico de nossa região, que atualmente abastece milhões de pessoas ao longo de sua bacia, fornecendo serviços de saneamento e energia, mas também se fazendo muito importante para o desenvolvimento de projetos futuros, como um melhor aproveitamento de suas águas para a geração de energia hidrelétrica e um possível potencial hidrocínético. A figura 16, abaixo, retrata o rio no trecho de Volta Redonda, RJ.

Figura 16 – Rio Paraíba do Sul trecho de Volta Redonda



Fonte: <http://jornalbeirario.com.br/portal/?p=47402>

## 2.5. Turbinas Hidrocínéticas

As turbinas hidrocínéticas são máquinas hidráulicas que tem a função de aproveitar as correntes de rios e mares, convertendo sua energia cinética em energia mecânica por meio de suas pás, gerando assim eletricidade. Embora sejam associadas às hidrelétricas à primeira vista, as turbinas hidrocínéticas possuem um porte muito menor e devido a isso, sendo projetadas para trabalharem imersas nos corpos d'água, sem a necessidade da construção de barragens e sem causar a elevação do nível do rio ou qualquer outro impacto relevante na natureza.

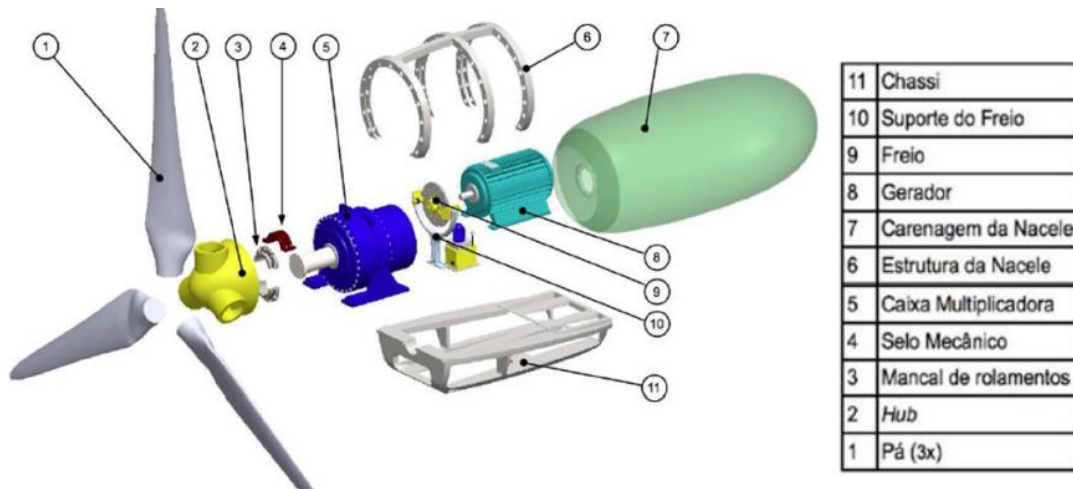
Existem diversos tipos e variações de turbinas, cada uma com suas propriedades e funções específicas, sendo empregadas em cenários e condições diferentes. Essa tecnologia ainda evolui devagar se comparada as tecnologias de outras fontes renováveis como as eólicas e fotovoltaicas, mas possui um potencial é gigantesco, podendo ser ainda bastante aproveitado no mundo, com o seu emprego em parques hidrocínéticos, assim como parques energéticos eólicos e solares.

### 2.5.1. Componentes Gerais

- Gerador: Um gerador é constituído de bobinas de fios de cobre protegidos por uma carcaça, muito semelhante a um motor elétrico, mas de forma inversa, através da energia cinética da água ele capta o movimento mecânico de giro e converte em energia elétrica.
- Rotor: Componente que sustenta as pás, e direciona o fluxo da corrente fluvial, e é responsável por captar a força exercida nas pás e transformá-la em deslocamento e torque no eixo.
- Caixa Multiplicadora: Faz com que a rotação de entrada se eleve, fazendo com que o motor gire muito mais rápido, de uma forma a gerar corrente no gerador de acordo com sua rotação especificada.
- Eixo: Elemento rotativo que serve para distribuir sua força para o rotor é em seguida uma caixa redutora fazendo com que o sistema todo trabalhe para gerar energia.
- Mancais: Um componente que serve de apoio para um determinado eixo.
- Acoplamento: Transmite o movimento entre dois elementos, nesse caso, entre os eixos de entrada com a caixa multiplicadora e o eixo a qual será transmitido.
- Sistema de freio: Regula a velocidade rotativa do eixo, para que possa evitar sobrecargas situacional ou condições inadequadas de funcionamento do sistema. Prevenindo acidentes e dano no sistema mecânico.

Podemos verificar esse sistema de forma mais detalhada na figura 17 na página seguinte, que ilustra cada componente citado acima.

Figura 17 – Esquema de componentes de uma THC explodido

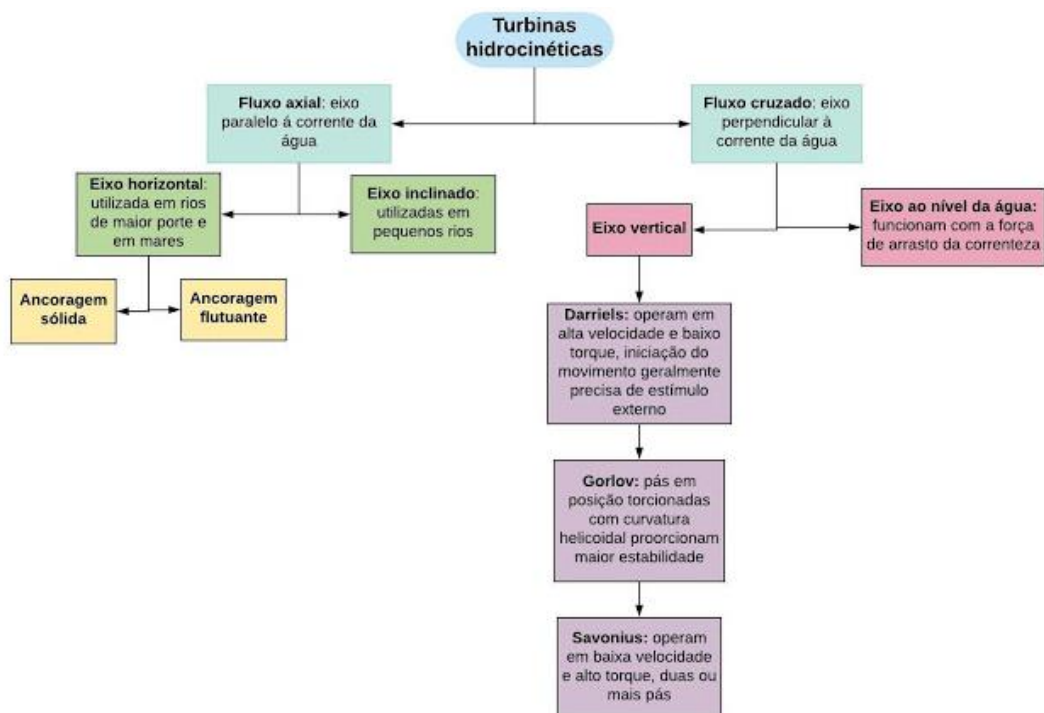


Fonte: FONSECA; ARAUJO, 2013

### 2.5.2. Tipos de Turbinas Hidrocinéticas

Hoje em nosso meio podemos encontrar vários tipos de turbinas e que possui também uma grande variação de arranjos e nas formas de instalação. Os projetos contam com turbinas em eixos axial, eixos planos ou horizontais, esses modelos estão ilustrados na Figura 18 logo abaixo.

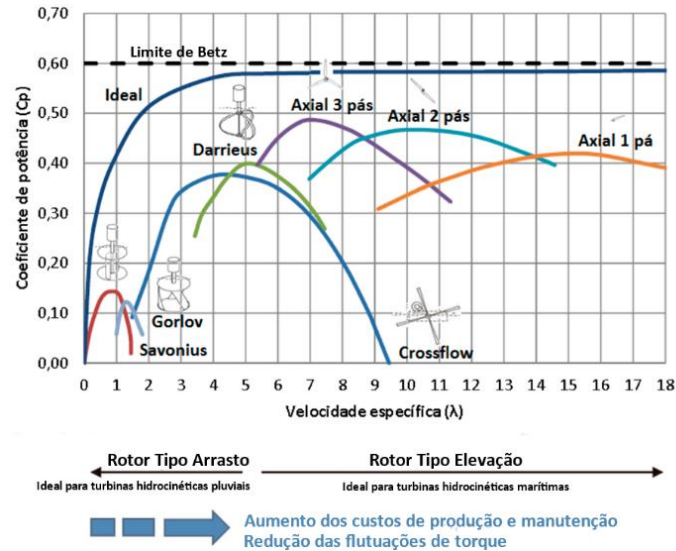
Figura 18 – Classificação das THCs



Fonte: VELOSO; CLEMENTE, 2013.

Na figura 19 abaixo, podemos analisar o desempenho de potência e velocidade das turbinas existente e mais usadas para aproveitamento do fluxo de um determinado rio, correlacionadas com o Coeficiente de Potência (CP) e com a divisão da velocidade na ponta da pá ( $\lambda$ ), mostrando que para cada intervalo da divisão, existe um tipo de turbina mais apropriado para ser usado.

Figura 19 – Curva Coeficiente de Potência x Velocidade Específica



Fonte: Edwin e Ainhoa, 2019

### 2.5.2.1. Turbinas Axiais de Eixo Inclinado e Turbinas de Fluxo Axial

Esse tipo de turbina pode ser classificado de acordo com o posicionamento do seu eixo que é paralelo ao deslocamento do fluido e pode ser ainda subdividida em duas categorias: axial com eixo na horizontal e as de eixo inclinado. Esse tipo de turbina é ilustrado na figura abaixo:

Figura 20 – Turbina axial de eixo inclinado



Fonte: KHAN, IQBAL e QUAICOE, 2008

Assim como em qualquer componente mecânico, as turbinas axiais têm suas vantagens e desvantagens em comparação a de fluxo cruzado. A principal vantagem é a capacidade de alto arranque não necessitando de um outro método para começar a operação. Para esse modelo de turbina, o empenho satisfatório é atingido a uma velocidade mais alta de rotor, desta forma, apresenta uma diminuição do acoplamento de transmissão.

Através do controle ativo, a operação é mais eficiente, muitas vezes exigindo proteção contra sobrecarga. A maior desvantagem é a complexidade e o alto custo, afinal, os acoplamentos do gerador e a sua operação é subaquática. A figura 21 abaixo retrata uma turbina de eixo axial existente no mercado.

Figura 21 – Exemplo turbina axial Smart Hydro Power



Fonte: Smart-hydro.de, 2020

As turbinas axiais de eixo inclinado foram projetadas para rios pequenos e são fabricadas para produção de energia em pequena escala. Por outro lado, as turbinas axiais de eixo horizontal, são muito mais comuns tanto para a geração de energia em rios quanto no mar, e possui muitas semelhanças com as turbinas eólicas modernas.

### **2.5.2.2. Turbinas de Fluxo Cruzado**

As turbinas de fluxo cruzado recebem este título pois seus rotores se posicionam de forma perpendicular à corrente do fluido. Elas podem ainda ser divididas em outras duas categorias, de eixo vertical e com eixo no nível da água.

As turbinas de eixo no nível da água, possuem um funcionamento característico com arrasto, por este motivo são geralmente menos eficientes quando comparadas às turbinas de eixo vertical. As turbinas de fluxo cruzado possuem uma característica muito notável, pois

emitem baixos ruídos e vibrações oriundas das perdas reduzidas nas pás que giram mesmo com fluxo bidirecional. Em contrapartida, as desvantagens que elas apresentam são a produção de ondulação de torque na saída, as vezes é necessária força externa para iniciar a operação, eficiência menor quando comparado as demais turbinas hidrocínéticas. Abaixo, a figura 22 retrata uma turbina de fluxo cruzado existente no mercado.

Figura 22 – Exemplo turbina de fluxo cruzado h-darrieus Hydroquest

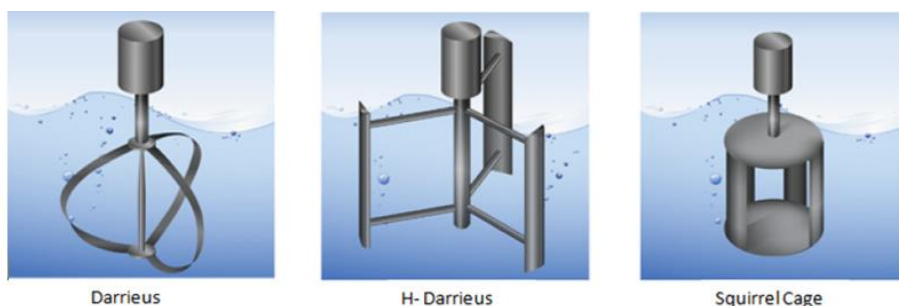


Fonte: HydroQuest Smart Power Solutions, 2020

### 2.5.2.3. Turbina de Darrieus e Gaiola de Esquilo

A turbina de Darrieus possui lâminas orientadas verticalmente que giram em torno de seu eixo na vertical, trabalhando em altas velocidades e baixo torque. Esse modelo de turbina possui ainda duas variantes, denominado Darrieus tipo H, possuindo um design mais simplificado, de geometria mais retilínea e o modelo Gaiola de Esquilo. A turbina Darrieus e suas variações são conhecidas por serem propícias à uma baixa eficiência, podendo ainda precisar também de um auxílio externo para iniciar seu trabalho, mas como pode ser visto na figura 22, anterior, existem modelos que contornam estas dificuldades conseguindo gerar grandes potências. A figura 23 a seguir ilustra os vários tipos de turbinas Darrieus.

Figura 23 – Diferentes tipos de turbinas verticais



Darrieus

H- Darrieus

Squirrel Cage

Fonte: KHAN, IQBAL e QUAICOE 2008

#### 2.5.2.4. Turbina Gorlov

Criado por Alexander Gorlov na Northeastern University em Boston, esse tipo de turbina possui um design com três pás helicoidais que inovou as turbinas de fluxo cruzado. Com o seu funcionamento, o movimento rotativo dos aerofólios da turbina através do fluido, altera a velocidade aparente e o ângulo de ataque do fluido em relação ao aerofólio. O resultado disso é a geração de potência mecânica independente do sentido do fluxo de água. A seguir a figura 24 ilustra este modelo.

Figura 24 – Turbinas Gorlov

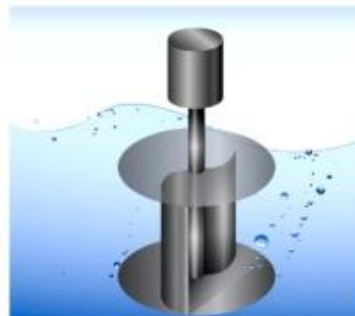


Fonte: KHAN, IQBAL e QUAICOE 2008

#### 2.5.2.5. Savonius

Inventada em 1992 pelo engenheiro Sigurd Johannes Savonius, esse modelo de turbina é composto por hélices em formato de “S” em sua seção transversal, que trabalham através do efeito de arrasto com os fluxos de ar. O arrasto gerado em seu funcionamento permite o movimento de giro da turbina Savonius, mas também extraem muito menos energia do vento se comparada a outras turbinas de fluxo cruzado. A figura 25 demonstra um exemplo da turbina Savonius, a seguir.

Figura 25 – Turbina tipo Savonius



Fonte: KHAN, IQBAL e QUAICOE 2008

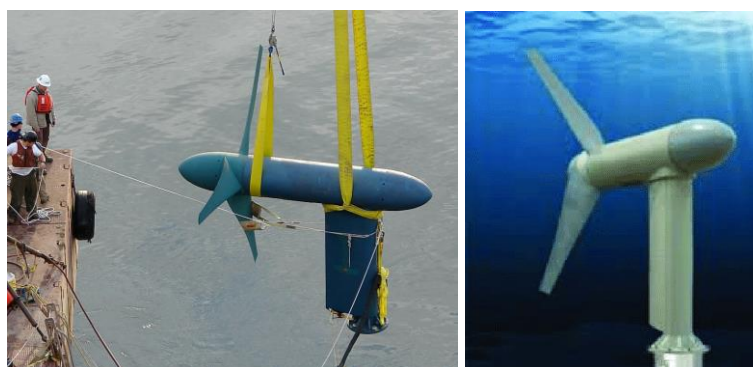
## 2.6. Tipos de Ancoragem

Em todo meio de estrutura usado em um determinado fluxo de um fluido como de um rio ou mares, e de maior importância que essa estrutura seja fixada por ancoragem, ou que tenha capacidade própria de sustentação ou de flutuar. Para as turbinas citadas acima, vamos verificar qual melhor tipo de ancoragem para cada e determinada aplicação.

### 2.6.1. Ancoragem Sólida

Esse tipo de fixação é realizado através de uma base ou plataforma que irá manter a turbina em uma determinada posição e profundidade ideal no corpo hídrico. Os pontos de apoio devem ser dimensionados com segurança e instalados num ponto resistente, seja as margens do rio, em seu leito ou em uma estrutura. A turbina mostrada na Figura 26 é um exemplo de turbina de ancoragem sólida.

Figura 26 – Turbina hidrocínética marítima Verdant Power Gen 4



Fonte: <https://www.verdantpower.com>, 2020

### 2.6.2. Ancoragem flutuante

Dentre todas as ancoragens uma das mais aplicadas nas turbinas hidrocínéticas é a flutuante. Nesse tipo de ancoragem, são utilizadas boias para fazer a turbina flutuar próxima a superfície do corpo hídrico, e um cabo de ancoragem para que a correnteza não mova o sistema. Na figura 27 na página seguinte, podemos ver um modelo de turbina com ancoragem flutuante.

Figura 27 – Turbina de Fluxo Cruzado com Ancoragem Flutuante



Fonte: Smart-hydro.de, 2020

### 2.7. Fazenda de Turbinas Hidrocinéticas

As fazendas ou parques energéticos são uma forma já bastante utilizada em diversos outros segmentos da indústria da produção de energias renováveis, sendo empregada de forma abrangente com placas fotovoltaicas e turbinas eólicas, abrangendo grandes extensões de terra a fim de conseguir um melhor aproveitamento energético. A figura 28 abaixo retrata um parque hidrocinético da França.

Figura 28 – Parque hidrocinético flutuante no Rio Ródano

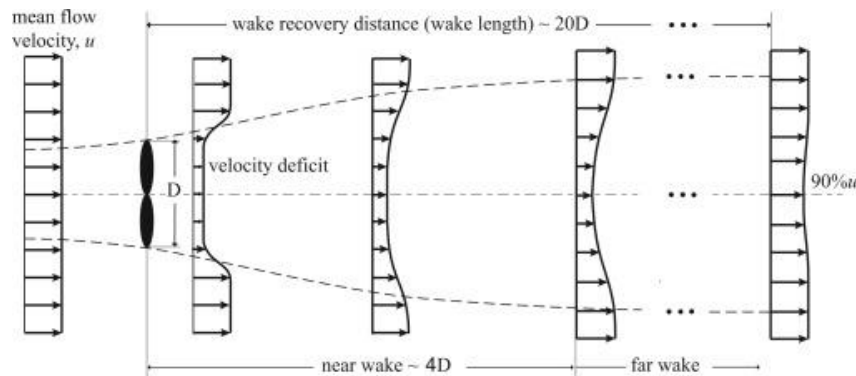


Fonte: <https://met.grandlyon.com/des-hydroliennes-sur-le-rhone-une-premiere-mondiale/>

Na produção de energia hidrocinética, este método também é muito bem empregado, com a produção energética podendo chegar na casa dos MW de potência. As diversas formas de ancoragem e layout de disposição das turbinas permitem diversas configurações, que determina o número de unidades a se instalar no local, sendo assim possível estipular o potencial total gerador.

Atualmente estudam-se os efeitos de interferência entre os rotores das turbinas para determinar a sua melhor localização, pois ao rotacionarem, o fluxo gerado altera a uniformidade do escoamento que incide sobre os rotores posteriores. Em alguns casos a velocidade se recupera em uma distância de 10 a 20 diâmetros de rotor na esteira, se considerando assim uma faixa de distâncias razoáveis (Bahaj, 2011) (Mycek *et al*, 2014), como mostrado na figura 29 abaixo.

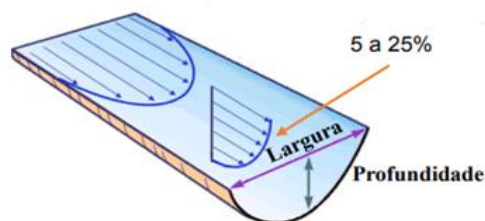
Figura 29 – Perfil de distância de recuperação



Fonte: NICHOLAS D. BRENDEN P. 2016

Já em relação a profundidade ideal para instalação das THCs, estudos comprovam que esta faixa está entre 5 a 25% da superfície em relação ao fundo do leito do rio, local onde ocorre a velocidade máxima, conforme ilustra a figura 30 abaixo.

Figura 30 – Perfil de velocidade de um rio



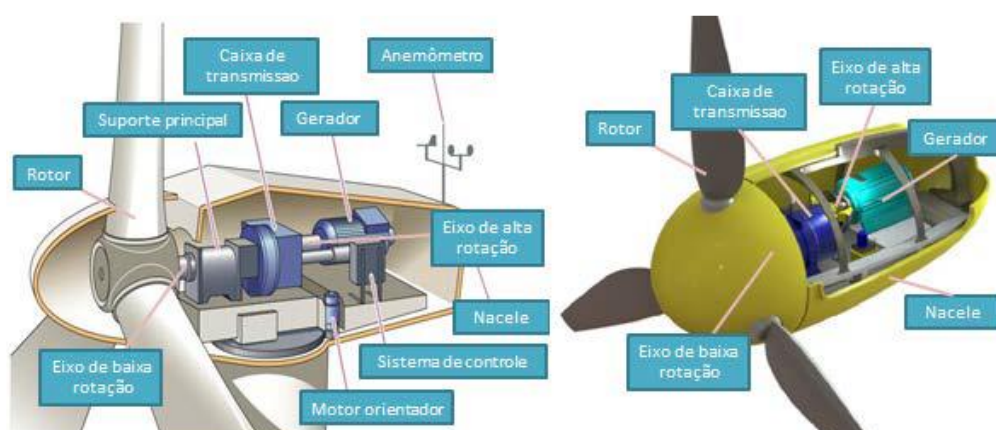
Fonte: BORMA; RENNÓ, 2016

## 2.8. Manutenção para Turbinas Hidrocinéticas

De forma geral, as turbinas hidrocinéticas são bastante semelhantes às turbinas eólicas, pois ambos os equipamentos lidam com a transformação da energia mecânica para elétrica, obtida a partir da energia cinética contida no escoamento de um fluido, necessitando assim de muitos equipamentos mecânicos similares. Estes equipamentos possuem componentes de

ponta, contando com tecnologias e embasamentos em seu projeto que envolvem diversas áreas como mecânica, aerodinâmica, elétrica e automação, exigindo uma alta capacidade profissional para a execução da manutenção no equipamento. Como pode ser visto na figura 31 a seguir, os componentes das turbinas são bem semelhantes e com base nisso efetuamos nossas pesquisas e tomaremos as conclusões sobre o tipo de manutenção empregadas nestes equipamentos.

Figura 31 – Componentes internos turbina eólica e hidrocínética



Fonte: <http://agencia.eletronorte.gov.br/site/2016/05/05/energia-hidrocinetica-projeto-tucunare-apresenta-resultados-e-busca-parceria-para-desenvolver-prototipo-de-turbina/>

A manutenção é feita em 3 etapas interligadas através de um conjunto de técnicas para descobrir os danos mecânicos ou elétricos da turbina hidrocínética. São elas a manutenção preventiva, preditiva e corretiva, que são feitas conforme um planejamento eficiente, em todas as partes das turbinas hidrocínéticas.

### 2.8.1. Manutenção Preventiva

A Manutenção Preventiva visa a substituição dos componentes antes que venham sofrer algum dano ou falha, o que pode acarretar a parada do equipamento, perda de produção ou acidentes. Por isso, rotinas preventivas, inspeções e reparos são essenciais e são realizadas todos os anos, feitos através de um conjunto de ações que visam o custo mínimo em todas as etapas do processo, sem que haja a parada do equipamento por muito tempo. As inspeções periódicas das rotinas preventivas devem promover a renovação de peças e componentes constantemente, se necessário. A análise de todos os dados coletados também se faz muito importante para prevenir possíveis danos e contratempos futuros.

### **2.8.2. Manutenção Preditiva**

A manutenção preditiva ou manutenção condicionada, é feita por meio de verificações periódicas no equipamento, mantendo um intervalo fixo entre a troca de suas peças, componentes e fluidos. Sua grande vantagem é a possibilidade de programação da paralização do equipamento, diminuindo assim as perdas e otimizando o tempo de operação parado. Esse tipo de manutenção pode ser executada através de sensores que emitem informações ao painel de controle, onde os técnicos podem acompanhar todo o processo, possibilitando uma eficiente manutenção do equipamento, aumentando a produtividade e longevidade, consequentemente diminuindo os custos. A implantação de programas para monitoração e supervisão de todo o funcionamento de uma turbina hidrocínética ainda não se faz tão presente quanto nos aerogeradores, mas é uma ferramenta de melhoria muito importante para o desenvolvimento futuro destas tecnologias.

### **2.8.3. Manutenção Corretiva**

Incidentes inesperados acontecem em todo e qualquer sistema de equipamentos e é sempre bom estar preparado para agir a fim de remediar um problema, e para tanto, a manutenção corretiva deverá ser executada. Este procedimento deve ser feito de maneira rápida, econômica e eficiente, pois o equipamento estará parado enquanto sua falha não for diagnosticada e devidamente corrigida.

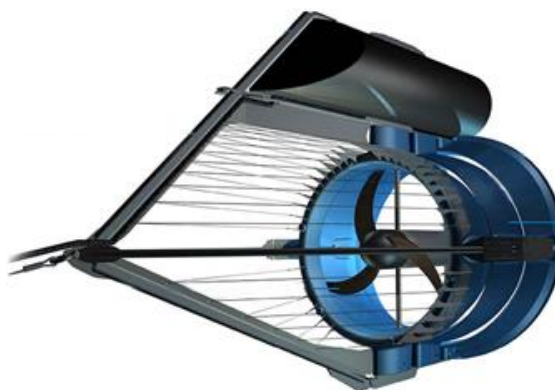
Nas turbinas hidrocínéticas é bastante raro que isso ocorra, devido a estrutura com que seus componentes internos são montados e protegidos, mas também devido a presente manutenção preventiva, que deve ser feita de forma rígida.

## **2.9. Turbinas Adotadas**

### **2.9.1. Turbina Smart Monofloat**

As turbinas Smart Monofloat possuem eixo axial horizontal, e como toda turbina hidrocínéticas não necessita da construção de barragens, aproveitando a energia das correntes dos rios. Elas são desenvolvidas com um projeto inteligente de fácil instalação, contando com um flutuador que a permite trabalhar normalmente mesmo com a variação no nível do rio. Sua instalação é dinâmica, com a ancoragem podendo ser feita no leito do rio, ou em qualquer outro suporte fixo, como pontes e plataformas. Outra característica presente neste equipamento é uma tela de cabos que protege os hélices de detritos que possam estar flutuando na correnteza. Os cabos de aço inoxidável são projetados, de modo que os detritos não acumulam nem danificam as lâminas. O modelo é ilustrado na figura 32 na página seguinte.

Figura 32 – Turbina Smart Monofloat



Fonte: Smart-hydro Datasheet

Para sua capacidade energética, possui um gerador subaquático de 5 kW de ímã permanente que fornece alimentação de saída de corrente alternada trifásica e ainda conta com os benefícios:

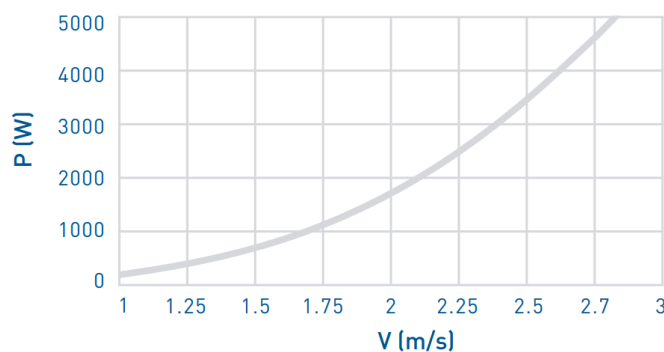
- O gerador subaquático de ímã permanente fornece energia CA.
- Flutuador de mergulho que submerge e evita detritos quando o fluxo está mais intenso
- Especialmente adequado para águas com detritos pesados.
- Sistema expansível com múltiplas turbinas.
- Disponível como uma solução off-grid, rede-conectada e versão híbrida.
- Difusor que protege o gerador e aumenta a velocidade de saída.
- Máxima potência de saída de 2,8 m /s.
- Mínima profundidade do rio: 2,0 m.
- Mínima largura do rio: 2,0 m.

Tabela 1 – Informações Técnicas da Turbina Smart Monofloat

Saída	250 – 5000 w
Dimensões	Profundidade: 3130 mm Largura: 1600 mm Altura: 2010 mm
Rotação	90 – 230 rpm
Peso	380 kg
Número de Lâminas	3
Diâmetro do Rotor	1000 mm

Fonte: O autor

Figura 33 – Gráfico da Curva de Potência de Saída da Turbina Smart Monofloat



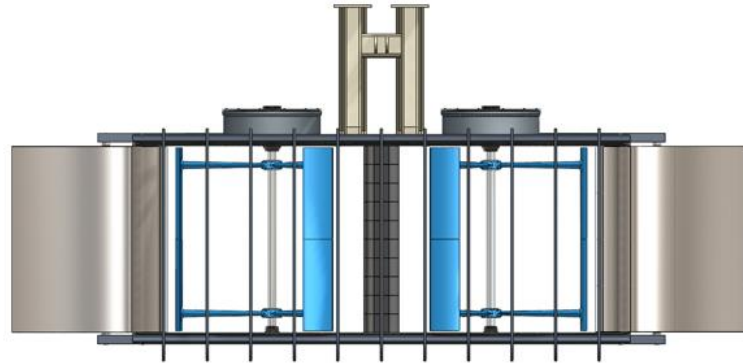
Fonte: Smart-hydro Datasheet

### 2.9.2 Turbina Hydroquest River 1.50

As turbinas Hydroquest River 1.50 são bem eficientes, possuindo alto rendimento energético, rápida instalação, com um sistema de ancoragem que é feito em conjunto a uma barcaça. A linha de turbinas 1.50 trabalha desde pequenos a grandes rios, contando com dois geradores com ímãs permanentes, colocado no final de cada coluna de turbinas, conversores que controlam a velocidade de rotação das turbinas de modo a otimizar o poder extraído de acordo com a taxa de vazão. Esses conversores de velocidade variável são padrão e comumente usados em hidroeletricidade e energia eólica.

A turbina 1.50 possui barras de aço que formam uma grade de proteção contra eventuais detritos que possam vir no fluxo do rio, contam com difusores de fluxo nas saídas e possuem um sistema de içamento hidráulico com a barcaça, que a permite submergir e emergir, tornando fácil e prática a manutenção ou paralização das turbinas. A turbina esta ilustrada na figura 34 e 35 na página a seguir.

Figura 34 – Turbina Hydroquest River 1.50



Fonte: Hydroquest/river

A turbina conta com tecnologia de ponta em seus componentes, como:

- O gerador subaquático de ímã permanente fornece energia CA ou CC.
- Especialmente adequado para águas com detritos pesados.
- Sistema expansível com múltiplas turbinas.
- Máxima potência de saída de 4 m /s.
- Mínima profundidade do rio: 2,2 m.
- Mínima largura do rio: 20 m.

Figura 35 – Barcaça Hydroquest



Fonte: Hydroquest/river

Vantagens da barçaça:

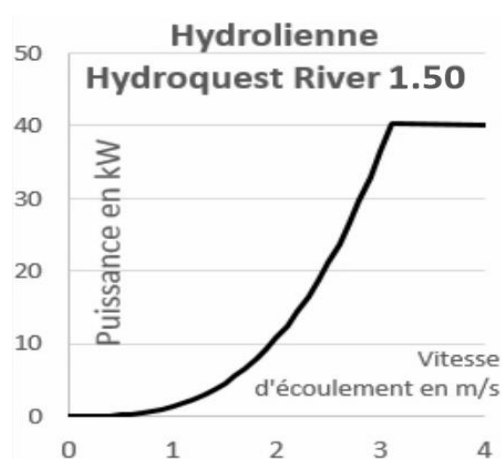
- Instalação rápida;
- Posição dinâmica;
- Mantem a turbina na profundidade desejada;
- Segurança em caso de inundações;
- Vantagem na disposição modular em parques de energia;
- Sistema de içamento hidráulico remoto.
- Ter acesso fácil às turbinas de maré através de uma plataforma de visita.

Tabela 2 – Informações técnicas da turbina HydroQuest River 1.50

Saída	3,5 – 40 kw
Dimensões	Profundidade: 3000 mm Largura: 5900 mm Altura: 1800 mm
Rotação	90 – 230 rpm
Peso	380 kg
Número de Lâminas	6
Diâmetro do Rotor	1500 mm

Fonte: O autor

Figura 36 – Gráfico da Curva de Potência de Saída da Turbina Hydroquest River 1.50

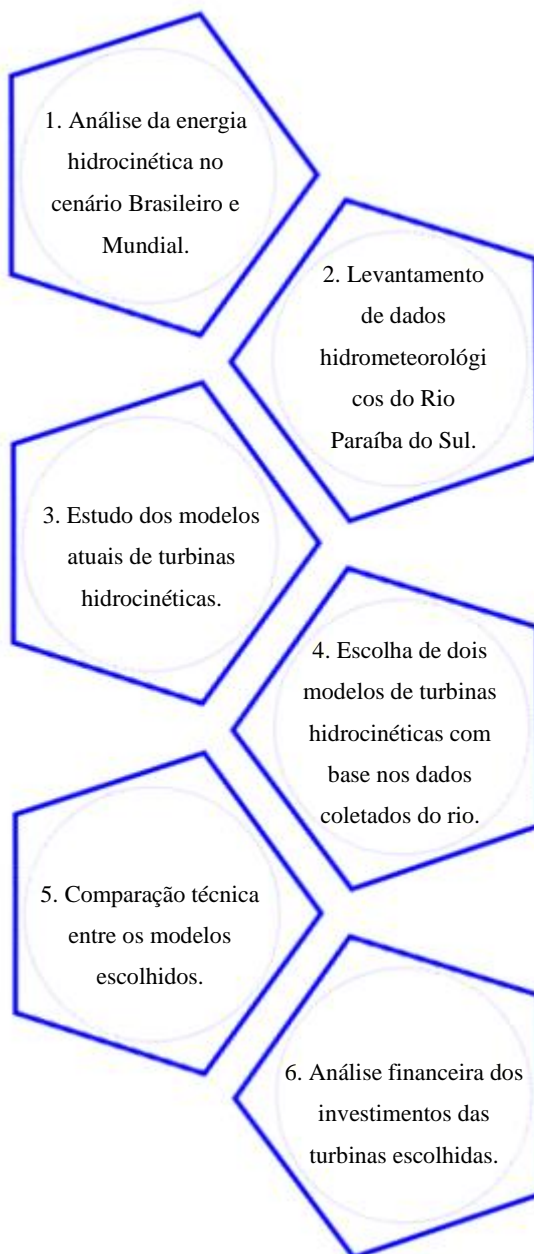


Fonte: Hydroquest/faq

### 3. METODOLOGIA

A metodologia empregada no trabalho foi embasada na análise do cenário mundial hidrocínético existente e nas turbinas selecionadas e pode ser conferido na figura abaixo:

Figura 37 – Fluxograma da Metodologia



Fonte: O autor

### **3.1. Análise da Energia Hidrocinética no Cenário Brasileiro e Mundial**

Analisaremos o cenário mundial em relação a energia hidrocinética fluvial, evidenciando dados hídricos e os projetos mais recentes no exterior e no Brasil, assim como a oferta de recursos e energia hídrica disponível.

### **3.2. Levantamento de Dados Hidrometeorológicos do Rio Paraíba do Sul**

Serão levantados dados e informações hidrometeorológicas sobre o Rio Paraíba do Sul, a fim de selecionar o trecho com características mais favoráveis a uma possível aplicação da tecnologia hidrocinética.

### **3.3. Estudo dos Modelos Atuais de Turbinas Hidrocinéticas**

Será feito um estudo dos modelos atuais de turbinas hidrocinética, evidenciando suas características e aplicações distintas.

### **3.4. Escolha dos Modelos de Turbina com Base nos Dados Coletados do Rio.**

Após o estudo, escolheremos dois modelos de turbinas hidrocinéticas disponíveis no mercado, suas características e valores reais, para a aplicação dos cálculos no cenário criado.

### **3.5. Comparação Técnica entre Modelos Escolhidos**

Tendo determinado os modelos de turbinas, serão feitos os cálculos, e em seguida a análise técnica para comparar sua capacidade de geração de energia no cenário empregado com os dados do Rio Paraíba do Sul.

### **3.6. Análise Financeira dos Investimentos nos Projetos Escolhidos**

Por fim iremos simular os custos e despesas com a implantação de um projeto fictício no cenário apresentado. Iremos então elaborar os cálculos econômicos de fluxo de caixa obtendo os valores de investimento necessário para a implantação de cada projeto, bem como o tempo necessário para um possível retorno financeiro.

## **4. ESTUDO DE CASO**

### **4.1. Responsabilidade Ambiental**

O profissional de Engenharia, aplica métodos científicos e empíricos de forma a utilizar recursos da natureza em prol do ser humano e da sociedade, como construções, veículos, indústria, e todos estes, em algum nível, podem ter um impacto no meio ambiente.

Com o intuito de fiscalizar estes impactos, no decorrer dos últimos 50 anos, desde a Conferência de Estocolmo, organizada pela Organização das Nações Unidas, foram criadas e implementadas leis e normas internacionais, além de incentivos à preservação ambiental e ao emprego de energias sustentáveis em diversos países.

Para uma hipotética implantação de turbinas hidrocinéticas no rio Paraíba do Sul, levamos em conta as orientações do INEA e da Constituição Estadual do Rio de Janeiro, que em seu Art. 268 define que o rio é uma área de relevante interesse ecológico, cuja interferência, preservados seus atributos essenciais, dependerá da autorização prévia dos órgãos competentes. Com isso, destacamos ainda às leis do Código Florestal Brasileiro, as Resoluções do CONAMA nº357 e nº430 e ao Licenciamento Ambiental.

#### **4.1.2. Código Florestal Brasileiro**

As normas e leis estabelecidas no Código Florestal Brasileiro promovem medidas de preservação ligadas principalmente a construção civil, fiscalizando obras em construção próximas aos cursos de rios e lagos naturais, perenes e intermitentes, que são considerados Áreas de Preservação Permanente.

A Lei nº12.651/12, do Código Florestal Brasileiro, por exemplo, tem o intuito de estabelecer normas gerais sobre a proteção ambiental das Áreas de Preservação Permanente (APP) e das áreas de Reserva Legal. Em seu art. 2º, a lei faz uma importante abordagem de um tema e que diversas vezes foi deixado de lado na história do Rio Paraíba do Sul e de diversos outros rios e córregos, que a proteção das matas ciliares.

A exploração excessiva de uma floresta ou de qualquer outro tipo de vegetação terá um impacto imediato à sua fauna, em seu solo e nos cursos hídricos, além de afetar os inestimáveis aspectos, históricos, culturais e científicos da região. Com a publicação da Medida Provisória de nº 2.166-67, de 2001, a qual ainda não foi transformada em Lei e que acrescentou um inciso do art. 1º do Código Florestal, determinou-se que qualquer área de preservação permanente independe da existência de vegetação, sendo de responsabilidade do Código Florestal, prever expressamente a proteção legal dos arts. 2º e 3º a despeito do art. 1º desta lei.

A Mata Ciliar leva esse nome, devido a semelhança entre a sua função e a dos cílios humanos, pois assim como os cílios servem para proteger os olhos de impurezas presentes no ar, a vegetação da mata ciliar filtra agrotóxicos, resíduos químicos e impurezas da água do reservatório hídrico, servindo também como fixação do solo por meio das raízes de suas plantas e árvores, evitando os desmoronamentos em época de chuva.

Assim, a conservação da mata ciliar é indispensável à qualidade de vida da população de uma maneira geral, pois é a forma mais simples de se garantir a preservação dos corpos hídricos, que possuem um importante papel, tanto nos serviços básicos de nossa sociedade, como também sustentar e catalisar novas idéias e projetos de geração de energia sustentável.

#### **4.1.3. CONAMA**

O Conselho Nacional do Meio Ambiente é um órgão consultivo que suporta o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), criado pela Lei nº6.938/81, para estabelecer a Política Nacional do Meio Ambiente. Sua função é estudar e propor ao governo, metas e diretrizes para guiar as políticas governamentais na exploração consciente e na preservação do meio ambiente e dos recursos naturais. Também cabe ao órgão, criar normas dentro de suas competências, que contribuam e fiscalizem para as medidas de preservação ambiental no país.

Logo em seu Art.1º, a Resolução nº357, define diretrizes ambientais e o método de classificação e enquadramento dos corpos de água superficiais, assim como estabelece as condições especificações de lançamento de efluentes nestes corpos.

Em seu Art. 2º são listadas 38 definições adotadas no enquadramento, sendo a última definição, revogada pela resolução nº430 que ainda viria a ocorrer em 2011. O enquadramento dos corpos de água se dá pela separação em classes e estabelece os parâmetros de qualidade a ser alcançado ou mantido, visando assegurar às águas uma qualidade coerente, de acordo com a sua finalidade mais prioritária e diminuir os custos envolvidos no combate à poluição das águas, por meio de ações preventivas permanentes.

Segundo o Comitê de Bacias Médio Paraíba do Sul, o enquadramento dos rios de domínio estadual ainda não foi proposto para sua região hidrográfica de vigência, portanto estes são considerados Classe II, Águas Salobras, com salinidade superior a 0,5% e inferior a 30%, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará o enquadramento de uma classe mais rigorosa correspondente, conforme o Art. 42º da resolução.

Com base nisso, a resolução aborda, no Art. 22, as condições e padrões de qualidade referentes à classe II, águas salobras, aspectos como: Condições de qualidade de água,

Parâmetros de carbono orgânico total presente, Parâmetros para taxa de Oxigênio Dissolvido, Parâmetros para ph etc.

Sendo assim, a implementação hipotética de uma ou mais turbinas hidrocinéticas no Rio Paraíba do Sul não emitiria quaisquer, ou uma quantidade irrelevante destes parâmetros de materiais físico-químicos, orgânicos e inorgânicos ao rio Paraíba do Sul, estando então de acordo com a norma descrita nestas resoluções.

#### **4.1.4. Sistema de Licenciamento Ambiental**

As atividades humanas, em destaque à atividade industrial, são fruto de uma relação entre o homem e o meio em que vive, onde a nossa sociedade se tornou dependente de retirar do meio ambiente os recursos naturais, para os mais variados usos. Atualmente, o fato de que estes recursos dispostos na natureza são finitos é indiscutível e o seu uso irracional é insustentável para atividades futuras.

A idéia de sustentabilidade surge para garantir a existência e preservação dos recursos naturais, tendo como base o emprego de leis e normas em respeito à natureza e às futuras gerações. Neste contexto, o Sistema de Licenciamento Ambiental (SLAM) foi instituído pelo Decreto Estadual nº 42.159, de 2 de dezembro de 2009, e alterado pelo Decreto Estadual nº 44.820, de 2 de junho de 2014, que por sua vez estipula empreendimentos e atividades que estarão sujeitas ao licenciamento ambiental.

O licenciamento fornece auxílio ao poder público, garantindo uma visão mais ampla de atividades e empreendimentos que usam de recursos naturais e que possam vir a impactar o meio ambiente determinada região, de acordo com o seu art.10º da Lei 6.938/81 que institui a Política Nacional do Meio Ambiente. Construir e reformar sem licença ambiental são crimes previstos na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998).

O empreendedor tem a obrigação de buscar a licença ambiental junto ao órgão competente de sua região, seja ele federal, estadual ou municipal, desde as etapas iniciais de projeto do empreendimento, até o início efetivo da operação.

Além do poder estadual exercido pelo Decreto nº 44.820/2014, no Estado do Rio de Janeiro, a Lei Complementar 140 concede a todos os municípios a competência para licenciar as atividades que possuam qualquer potencial de causar um impacto ambiental em sua localidade, caso a atividade for enquadrada com potencial poluidor. No entanto, se o empreendimento ultrapassar os limites do município, afetar áreas de ambiente marinho, afetar Unidades de Conservação do Estado ou da União (APAs) ou tiver atividade classificada como de âmbito federal ou estadual, sujeita à elaboração de EIA-RIMA, o licenciamento não será

municipal.

O SLAM divide ainda as atividades e empreendimentos em 6 diferentes classes para fins de licenciamento ambiental, distinguindo cada um de acordo com o seu porte e potencial poluidor de suas atividades. Esse enquadramento varia das classes 1A a 6C.

O potencial poluidor de uma atividade varia, podendo ser classificado como alto, médio, baixo ou insignificante. Já o porte do empreendimento, pode ser classificado como mínimo, pequeno, médio, grande ou excepcional. Tendo conhecendo do potencial poluidor da atividade e do porte do empreendimento, é possível descobrir enquadrá-lo dentro de umas das classes definidas pelo SLAM, de acordo com a figura 38 abaixo:

Figura 38 – Classificação SLAM

PORTE	POTENCIAL POLUIDOR			
	Insignificante	Baixo	Médio	Alto
Mínimo	Classe 1A Impacto Insignificante	Classe 2A Baixo Impacto	Classe 2B Baixo Impacto	Classe 3A Médio Impacto
Pequeno	Classe 1B Impacto Insignificante	Classe 2C Baixo Impacto	Classe 3B Baixo Impacto	Classe 4A Médio Impacto
Médio	Classe 2D Baixo Impacto	Classe 2E Baixo Impacto	Classe 4B Médio Impacto	Classe 5A Alto Impacto
Grande	Classe 2F Baixo Impacto	Classe 3C Médio Impacto	Classe 5B Alto Impacto	Classe 6A Alto Impacto
Excepcional	Classe 3D Baixo Impacto	Classe 4C Médio Impacto	Classe 6B Alto Impacto	Classe 6C Alto Impacto

Fonte: Manual empresarial, SENAI

A licença não é exigida às empresas cujas atividades não se enquadrem nas normas como potencialmente poluidoras, ou se enquadrem como de potencial poluidor insignificante, possuindo área menor a 2000m, captação de água de rede pública, coleta pública de esgoto, sem canteiro de obras e fora de Unidade de Conservação. A Certidão Ambiental de Inexigibilidade poderá ser solicitada ao Inea, caso seja necessário provar às outras instituições sua regularidade para com a licença ambiental. Esta certidão não elimina a obrigação da empresa de atender às outras questões ambientais e solicitar ao órgão documentos obrigatórios. O órgão ambiental pode também enquadrar um empreendimento como tendo um potencial poluidor, sendo necessária assim a emissão da licença ambiental.

Portanto, de acordo com as propriedades das turbinas hidrocinéticas escolhidas no projeto, como tipo de ancoragem e próprio processo de funcionamento, a hipotética implantação no Rio Paraíba do Sul, não exigiria quaisquer cede ou construção próximas às margens do rio, não existindo assim quaisquer despejos de efluente ao rio. Além disso, as turbinas e demais equipamentos de suporte técnico teriam um impacto insignificante ou inexistente ao rio, classificaria a empresa ou pessoa jurídica em porte Mínimo e Classe 1 de Impacto Insignificante, de acordo com o Decreto 44.820/14, o que acarretaria a Inexigibilidade do licenciamento ambiental.

#### 4.2. Cenário

Para determinarmos o trecho do Rio Paraíba do Sul o qual as turbinas seriam implantadas, pesquisamos e analisamos seus dados hídricos, físicos e geográficos com a ajuda de aplicativos, sites e relatórios de órgãos de monitoramento, fiscalização e energia atuantes no rio, afim de decidir de forma assertiva e apurada o local.

Chegamos então ao trecho às margens da Avenida Beira Rio, no bairro Jardim Cidade do Aço, nas proximidades da Ilha Esfinge e de uma antiga barragem construída pela CSN. O local foi escolhido por apresentar uma boa largura, mais estreita (80 metros), boa profundidade e menor variação em seu nível anual (uma média de 2,2 metros de profundidade), o que reflete diretamente em sua vazão e velocidade da correnteza. O trecho do rio escolhido pode ser visto na figura 38 abaixo:

Figura 39 – Trecho escolhido do Rio Paraíba do Sul



Fonte: Google Earth

### 4.3. Parâmetros de Estudo

Para a implementação e instalação dos dois modelos de turbinas hidrocínéticas neste cenário hipotético, avaliamos a demanda estipulada com base nos gastos energéticos de uma residência comum para três indivíduos, (400KW/h por mês) e as condições reais de operação, tanto por parte do trecho escolhido do Rio Paraíba, quanto por parte das turbinas hidrocínéticas.

Para a obtenção dos dados hídricos do rio foram utilizados um aplicativo para celular e seu respectivo site, ambos denominados Hydroweb, criados e atualizados pela ANA e pela Light, por meio da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), contando com de 4,5 mil estações de monitoramento em todo o País, fluviométricas, pluviométricas, entre outras. Já para a obtenção de dados físicos como a largura do rio e a área estipulada para o parque hidrocínético, foi utilizado o aplicativo Google Earth.

Para obtenção das características e especificações das turbinas contamos com os respectivos sites das duas empresas escolhidas, Smart Hydro e HydroQuest.

### 4.4. Dimensionamento das Turbinas

Nos cálculos a seguir, utilizamos os dados fluviométricos referentes ao rio Paraíba do Sul, fornecidos pela Light e pela ANA, a fim de encontrar a velocidade de correnteza do rio, para então obter uma potência final nas turbinas. Os dados são referentes ao período de 1 ano, entre 2019 e 2020. Tomamos como base também, os gráficos de Potência x Velocidade das turbinas listadas no capítulo anterior.

A seguir, listamos os seguintes dados referentes trecho do rio onde será implantado as turbinas.

Tabela 3 – Dados hidrofluviométricos do rio

Dados Fluviométricos	Valores Médios
Largura	80 m
Vazão Média Anual	275m <sup>3</sup> /s
Profundidade Média Anual	2,2 m
Margens	(2x)20 m

Fonte: O autor

Usaremos a seguinte fórmula para o cálculo da vazão:

$$Q = A * v$$

Onde:

$Q$  = Vazão em  $m^3/s$

$A$  = Área da seção transversal em  $m^2$

$v$  = Velocidade do fluido em  $m/s$

E considerando a área de seção transversal do rio como sendo a área de um trapézio, teremos:

$$A = \frac{(B+b)*h}{2}$$

Onde:

$A$  = Área da seção transversal em  $m^2$ ;

$B$  = Base maior, superfície do rio em  $m$ ;

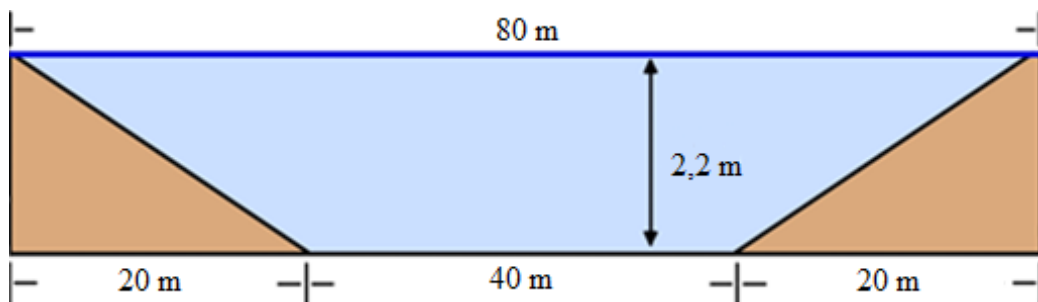
$b$  = Base menor, leito do rio em  $m$ ;

$h$  = Profundidade máxima do rio em  $m$ .

#### 4.4.1. Cálculo de Velocidade

No período de um ano, trabalharemos com os seguintes dados representados na figura abaixo.

Figura 40 – Representação gráfica dos dados hidrofluviométricos médios do rio



Fonte: O autor

## 1) Área Transversal

Considerando a área de seção transversal do rio como sendo a área de um trapézio, teremos:

$$A = \frac{(B+b)*h}{2}$$

$$A = \frac{(80+40)*2,2}{2}$$

$$A = 132m^2$$

2) Logo, aplicando a fórmula da vazão, teremos:

$$Q = A * v$$

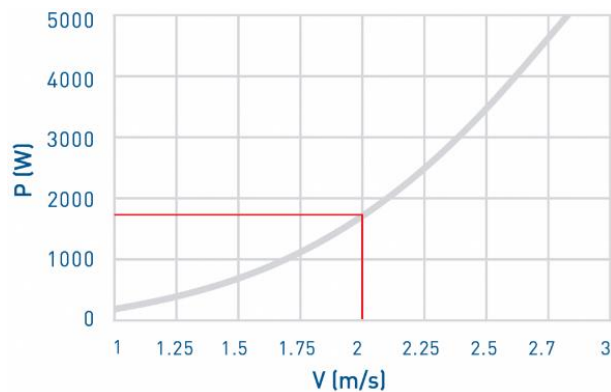
$$275 = 132 * v$$

$$v \approx 2,0 \text{ m/s}$$

#### 4.4.2. Potência gerada pela Turbina Hydro Smart Monofloat

No período obtivemos uma velocidade igual a 2 m/s, nos acarretando uma potência próxima dos 450W/h para a turbina, como pode ser visto na figura abaixo:

Figura 41 – Gráfico potência média turbina Hydro Smart Monofloat



Fonte: O autor.

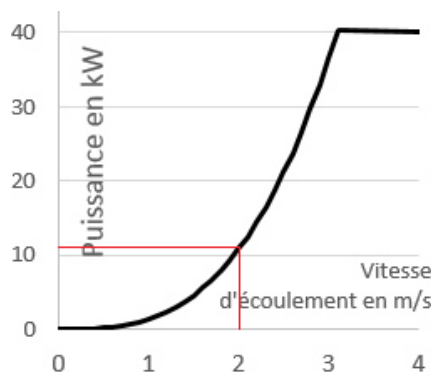
Consideramos então um cenário, onde geraria energia 24h por dia, num período de um mês com 30 dias. Sendo assim, obtivemos então a geração de energia:

$$1,7*(24*30) = 1,224 \text{ MW/h por mês equivalente a } 14,688 \text{ MW/h por ano}$$

#### 4.4.3. Potência Gerada Turbina Hydroquest River 1.50

No período obtivemos uma velocidade igual a 2 m/s, nos acarretando uma potência próxima dos 10,1 KW/h para a turbina, como mostra a figura na página a seguir:

Figura 42 – Gráfico Potência Média Turbina Hydroquest River 1.50



Fonte: O autor.

Consideramos então um cenário, onde a turbina, geraria energia 24h por dia, num período de um mês com 30 dias. Sendo assim, obtivemos então a seguinte geração de energia em um mês:

$$10,1 * (24 * 30) = 7,272 \text{ MW/h por mês}$$

$$\text{Equivalente a } 87,264 \text{ MW/h por ano}$$

## 5. ESTUDO ECONÔMICO COMPARATIVO

Este estudo analisa e identifica economicamente qual a melhor aplicação para os dois tipos de turbinas hidrocínéticas apresentados, em função de seu rendimento e sua capacidade de geração de energia no cenário de aplicação apresentado. Para tanto, um apanhado apurado de dados sobre custos e despesas deve ser feito, para tornar possível uma análise de custo mais profunda e dirigida é a melhor opção, utilizando as ferramentas de CAPEX e OPEX.

### 5.1. Custos da Implementação das Turbinas

Para a realização dos cálculos, foi aplicada uma aproximação a partir da quantidade de kW gerado por cada turbina, a fim de encontrar o custo de implantação de cada uma delas. De acordo com a estatal Hydro Québec, principal produtor de eletricidade no Canadá e o maior produtor mundial de hidroeletricidade, as instalações de turbinas hidrocínéticas têm um orçamento de instalação classificados de acordo com seu porte, variando em pequeno, médio e grande, como indicado na página seguinte.

- INSTALAÇÃO GRANDE PORTE 3.000 USD /kW – 16.500 R\$/kW
- INSTALAÇÃO MÉDIO PORTE 4.000 USD /kW – 22.000 R\$/kW
- INSTALAÇÃO PEQUENO PORTE 5.000 USD /kW – 27.500 R\$/kW

**\* Foram utilizados valores de dólar comercial mais realistas (R\$5,50), de acordo com o futuro cenário político-econômico do país, para a conversão das moedas.**

Sendo assim, a turbina Smart Monofloat, que possui capacidade de gerar até 5kW, foi enquadrada como uma instalação de pequeno porte:

$$\text{Smart Monofloat (5kW)} - 5 \times 27.500 = \text{R\$ } 137.500,00$$

Por sua vez, a turbina HydroQuest River 1.50, que possui capacidade de gerar até 50kW, foi enquadrada como uma instalação de médio porte:

$$\text{Hydroquest River 1.50} - 50 \times 22.000 = \text{R\$ } 1.100.000,00$$

## **5.2. CAPEX e OPEX**

Capital Expenditure (CAPEX) e Operational Expenditure (OPEX), são eficientes ferramentas de monitoramento de gastos e investimentos de uma empresa, considerados essenciais em qualquer ramo no mundo empresarial e industrial atualmente.

O CAPEX representa investimentos ou desembolsos em bens de capital, destinados a produção, em outras palavras, são os fundos utilizados diretamente na aquisição de equipamentos e quaisquer outros bens que visem a melhoria de um produto, serviço ou da própria empresa.

O OPEX se refere às despesas operacionais, desembolsos referentes à atividade de gestão empresarial, à manutenção de equipamentos, ao gasto de consumíveis e mais despesas operacionais. Esse tipo de desembolso é realizado cotidianamente e envolve também os serviços terceirizados.

Para obtermos o Capex e Opex foi preciso realizar uma gestão de ativos, a fim de expor com clareza todos os custos envolvidos na aquisição de cada turbina, o lucro de produção energética obtido com sua efetiva implantação e seus custos e mão de obra para permanência e manutenção do projeto.

### 5.2.1. Custo Energético

Segundo a Hydro Québec, o custo da energia gerada por turbinas hidrocínéticas varia de 11 a 15 ¢/kW para ser produzida. Optamos então por utilizar a taxa de 11 ¢/kW:

$$15 \text{ ¢/kW} = 0,477 \text{ R\$/kW}$$

Smart Monofloat:  $0,477\text{R\$} \times 1,7\text{kw} \times 24\text{h} \times 30\text{dias} = 583,84 \text{ R\$/mês}$

Hydroquest River 1.50:  $0,477\text{R\$} \times 10,1\text{kw} \times 24\text{h} \times 30\text{dias} = 3.468,74 \text{ R\$/mês}$

O valor do kW de energia vendido é, em média, de R\$0,79\*.

\* Valor estimado em valores reais. Este valor não considera os valores majorados em função das bandeiras tarifárias. Dessa forma nosso estudo assume resultados em bases mais conservadoras.

Temos, então:

$$(R\$ \times kW \times horas \times dias) - (R\$/mês)$$

Smart Monofloat:  $(0,79 \times 1,7 \times 24 \times 30) - (583,84) = 383,12 \text{ R\$/mês}$

Hydroquest River 1.50:  $(0,79 \times 10,1 \times 24 \times 30) - (3.468,74) = 2.276,14 \text{ R\$/mês}$

### 5.2.2. Valor do kW produzido por ano

Smart Monofloat:  $4.597,44 \text{ R\$/mês} \times 12\text{meses} = 6.462,72 \text{ R\$/ano}$

Hydroquest River 1.50:  $27.313,68 \text{ R\$/mês} \times 12\text{meses} = 38.396,16 \text{ R\$/ano}$

Tabela 4 – Resultados CAPEX e OPEX

Turbina	Potência Gerada (kw)	Instalação (R\$)	Custeio Mensal (R\$)	Resultado Mensal (R\$)	Resultado Anual (R\$)
Smart Monofloat	1,7	137.500,00	583,34	383,12	383,12
HydroQuest River 1.50	10,1	1.100.000,00	3.468,74	2.276,14	38.396,16

Fonte: O autor

### **5.3. Fluxo de Caixa**

É uma ferramenta de gestão financeira utilizada para análise e controle das entradas e saídas de capital em empresas ou investimentos, onde todas estas movimentações devem ser registradas a fim de prever o saldo futuro de um investimento, assim como a sua rentabilidade.

Para os cálculos serão consideradas:

FC = Fluxo de caixa

VPL = Valor presente líquido

TIR = Taxa Interna de Retorno

Tabela 5 – Fluxo de Caixa Turbina Smart Monofloat

Turbina Smart Monofloat		
Valor (ii)	R\$	137.500,00
Custo anual	R\$	7.006,08
Lucro anual	R\$	4.597,44
Durabilidade		25 anos
TMA		7%

$$Pv = Fv / (1+i)^n$$

#### Cálculo do Capital Inical

PV Anual	Anos	Pv Total
Pv1	1	R\$ 4.296,67
Pv2	2	R\$ 4.015,58
Pv3	3	R\$ 3.752,88
Pv4	4	R\$ 3.507,36
Pv5	5	R\$ 3.277,91
Pv6	6	R\$ 3.063,47
Pv7	7	R\$ 2.863,05
Pv8	8	R\$ 2.675,75
Pv9	9	R\$ 2.500,70
Pv10	10	R\$ 2.337,11
Pv11	11	R\$ 2.184,21
Pv12	12	R\$ 2.041,32
Pv13	13	R\$ 1.907,77
Pv14	14	R\$ 1.782,97
Pv15	15	R\$ 1.666,32
Pv16	16	R\$ 1.557,31
Pv17	17	R\$ 1.455,43
Pv18	18	R\$ 1.360,22
Pv19	19	R\$ 1.271,23
Pv20	20	R\$ 1.188,07
Pv21	21	R\$ 1.110,34
Pv22	22	R\$ 1.037,70
Pv23	23	R\$ 969,82
Pv24	24	R\$ 906,37
Pv25	25	R\$ 847,07

$\sum Pv$	R\$	53.576,65
-----------	-----	-----------

VPL	-R\$	83.923,35
-----	------	-----------

ILL		0,38964836
-----	--	------------

TIR		1,603% < 7%
-----	--	-------------

Fonte: O autor

Tabela 6 – Fluxo de Caixa Turbina HydroQuest River 1.50

HydroQuest River		
Valor (ii)	R\$	1.100.000,00
Custo anual	R\$	41.624,88
Lucro anual	R\$	27.313,68
Durabilidade		25 anos
TMA		7%

$$Pv = Fv / (1+i)^n$$

#### Cálculo do Capital Inicial

PV Anual	Anos	Pv Total
Pv1	1	R\$ 25.526,80
Pv2	2	R\$ 23.856,83
Pv3	3	R\$ 22.296,10
Pv4	4	R\$ 20.837,48
Pv5	5	R\$ 19.474,28
Pv6	6	R\$ 18.200,26
Pv7	7	R\$ 17.009,59
Pv8	8	R\$ 15.896,81
Pv9	9	R\$ 14.856,83
Pv10	10	R\$ 13.884,89
Pv11	11	R\$ 12.976,53
Pv12	12	R\$ 12.127,60
Pv13	13	R\$ 11.334,21
Pv14	14	R\$ 10.592,72
Pv15	15	R\$ 9.899,73
Pv16	16	R\$ 9.252,09
Pv17	17	R\$ 8.646,81
Pv18	18	R\$ 8.081,13
Pv19	19	R\$ 7.552,46
Pv20	20	R\$ 7.058,37
Pv21	21	R\$ 6.596,61
Pv22	22	R\$ 6.165,06
Pv23	23	R\$ 5.761,74
Pv24	24	R\$ 5.384,80
Pv25	25	R\$ 5.032,52

$\Sigma Pv$	R\$ 318.302,24
-------------	----------------

VPL	-R\$ 781.697,76
-----	-----------------

ILL	0,289365674
-----	-------------

TIR	1,74% < 7%
-----	------------

Fonte: O autor

## 7. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados dos cálculos de geração energética, para ambos os modelos de turbinas escolhidos, conseguimos valores bem realistas e consideráveis, sendo 14,688 MWh por ano para a turbina Smart Monofloat, e 87.264 MWh gerados por ano pela turbina HydroQuest River 1.50. No caso do modelo de menor porte, conseguiria abastecer uma até duas residências pequenas, como kitnets por exemplo, cada uma com gastos de energia em torno de 250 KWh por mês, por um ano inteiro, sendo ideal a sua aplicação para co-geração de energia. Já a turbina de maior porte, também serviria para a co-geração, sendo um pouco mais autônoma, com a capacidade de gerar energia para mais de 7.000 residências com gastos de até 1 MWh por mês, um ano inteiro.

Com estes valores em mãos, foi possível realizarmos o estudo econômico de CAPEX e OPEX para, então, avaliar o quão viável seria investir num projeto com estas turbinas. Projetando os seus custos de instalação, os quais consideram o preço do equipamento mais os gastos com mão de obra e serviços de terceiros, pudemos notar que ambos os modelos não conseguiriam gerar um retorno financeiro aceitável no decorrer de sua vida útil, terminando ainda o seu vigésimo quinto ano com prejuízo para o investidor.

Isso se deve essencialmente pelas características hidrofluviométricas do Rio Paraíba do Sul e também pela sua degradação, sofrida ao longo dos séculos, o que confirma uma maior e melhor aplicabilidade de turbinas hidrocínéticas nas regiões norte e nordeste do Brasil, onde se concentram justamente, a maior quantidade de rios, com grandes vazões de água e conseqüentemente, corpos d'água de velocidade mais intensa, com maior potencial energético, sendo assim mais propícios ao emprego de turbinas hidrocínéticas.

Esse potencial hidrocínético têm sido explorado por alguns projetos nas últimas décadas, principalmente beneficiando comunidades ribeirinhas isoladas, sem acesso à energia elétrica, mas merece mais atenção e incentivos para se tornar um recurso mais bem explorado em todo o país.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ELETRONORTE. **Energia Hidrocinética: Projeto Tucunaré apresenta resultados e busca parceria para desenvolver protótipo de turbina.** Disponível em: <http://agencia.eletronorte.gov.br/site/2016/05/05/energia-hidrocinetica-projeto-tucunare-apresenta-resultados-e-busca-parceria-para-desenvolver-prototipo-de-turbina/>. Acesso em: 16/10/2019.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil.** 2014.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Divisões Hidrográficas do Brasil.** Disponível em: [https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/copy\\_of\\_divisoes-hidrograficas](https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/copy_of_divisoes-hidrograficas). Acesso em: 20/09/2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Desafios para Expansão da Geração Hidrelétrica.** 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 2002.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Serviço Público de Transmissão de Energia Elétrica.** Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/transmissao5>. Acesso em: 20/09/2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração: Brasil alcança 170 mil megawatts de capacidade instalada em 2019.** Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-alcanca-170-mil-megawatts-de-capacidade-instalada-em-2019/656877?inheritRedirect=false](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-alcanca-170-mil-megawatts-de-capacidade-instalada-em-2019/656877?inheritRedirect=false) Acesso em: 20/09/2019.

ARRIETA, E. AINHOA, C. **Computational Fluid Dynamic Simulation of Vertical Axis Hydrokinetic Turbines**. 10.5772/intechopen.89184. 2019.

BAHAJ, A. **Generating Electricity from the oceans**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, 2011, p.3399-3416.

BORMA, L. S.; RENNÓ, C. D. **Processos Hidrológicos**. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/pdf/cst318\\_08hidrometriaevazao.pdf](http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/pdf/cst318_08hidrometriaevazao.pdf). 2016  
Acesso em: 25/02/2020.

CMSE, Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico. **Previsão: Volume dos Reservatórios**. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-10/volume-de-reservatorios-de-bacias-deve-ser-inferior-40-neste-mes>. Acesso em 05/02/2020.

CUNHA, J. T. L. **Análise de Estabilidade da Turbina Hidrocinética HTUC-01 em Condições de Operação**. 2015. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

EPE, Empresa de pesquisa Energética. **Atlas da Eficiência Energética Brasil**. 2019.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional: Relatório Síntese / Ano Base 2018**.

EPRI, Electrical Power Research Institute. **Assessment and mapping of the Riverine hydrokinetic energy resource in the continental U.S.** Rep. No. 1026880, Palo Alto, CA, 2012.

FONSECA, E. N.; ARAUJO, I. G. **Projeto do Sistema de Transmissão e Estrutura de Turbina Hidrocinética**. 2013. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Monitor de Secas**. Disponível em: <http://www.funceme.br/?p=5894>. Acesso em: 12/05/2020.

HUANG, R. **Encyclopedia of energy**. Amsterdam: Elsevier; 2004.

HYDRO QUÉBEC. **A renewable energy Option: Hydrokinetic Power**. 2015.

IIASA, INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS. **Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012, 118p.

ITAMARATY, Ministério das Relações Exteriores. **Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/176-recursos-hidricos>. Acesso em: 24/11/2019.

JAQUIER, T. **L'hydrolien fluvial**, Solution maintenant opérationnelle, 2015.

JUNIOR, A. C. P. B; ELS, R. VAN; SALOMON, L. R. B; FERREIRA, W.O. **A new conception of hydrokinetic turbine for isolated communities in amazon**, in Proc. of CONEM, Recife 2006.

JUNIOR, A. C. P. B; ELS, R. VAN; SALOMON, L. R. B; OLIVEIRA, T; RODRIGUES, A. P; FERREIRA, W. O. **Turbina Hidrocinética Geração 3**, 2007.

JUNIOR, A. C. P. B; ELS, R. VAN. **The brazilian experience with hydrokinetic turbines**. Energy Procedia, v. 75, p. 259 – 264, 2015. ISSN 1876-6102. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215010966>. Acesso em 19/03/2020.

KHAN, M.; BHUYAN, G.; IQBAL M.; QUAICOE, J. **Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal application: a technology status review**. Applied Energy, Vol. 86, 2009, p.1823–3535.

MANUAL EMPRESARIAL DO SENAI. **Licenciamento Ambiental para Construção Civil**. 2015.

MET', A revista do Metr pole de Lyon. **Turbinas no rio Ródano**. Disponível em: <https://met.grandlyon.com/des-hydroliennes-sur-le-rhone-une-premiere-mondiale/>. Acesso em: 08/04/2020.

MINESTO COMPANY. **Ocean Energy**. Disponível no site: <http://minesto.com/ocean-energy/>. Acesso: 26/09/2019.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Capacidade Instalada de Usinas Hidrelétricas Ultrapassa 100 GW**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/assetpublisher/pdAS9IcdBICN/content/cmse-capacidade-instalada-de-usinas-hidreletricas-ultrapassa-100-gw?i>. Acesso em: 03/02/2020.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. 2007.

MYCEK, P.; GAURIER, B.; GERMAIN, G.; PINON, G.; RIVOALEN, E. **Experimental study of the turbulence intensity effects on marine current turbines behavior. Part II: Two interacting turbines.** Renewable Energy, Vol.68, 2014, p.876–892.

MYERS LE, KEOGH B, BAHAJ A. **Experimental investigation of inter-array wake properties in early tidal turbine arrays.** In: OCEANS; 2011.

NICHOLAS D. BRENDEN P. **Hydrokinetic energy conversion: Technology, research, and outlook,** Vol. 57, 2016.

SMART HYDRO POWER, **Smart Monofloat Turbine.** Disponível em: <https://www.smart-hydro.de/renewable-energy-systems/hydrokinetic-turbines-river-canal/#monofloat> . Acesso em 17/09/2019.

VELOSO, G. G.; CLEMENTE, R. E. B. **Estudo Comparativo entre Perfis Hidrodinâmicos de Rotores de Turbinas Hidrocinéticas.** 2013. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ZME SCIENCE. **How Much Renewable Energy Does the World Use.** Disponível Em: <https://www.zmescience.com/ecology/climate/how-much-renewable-energy/>. Acesso em: 25/11/2019.