

# Energia Elétrica e Sustentabilidade 2

Jaqueline Oliveira Rezende  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

**JAQUELINE OLIVEIRA REZENDE**

(Organizadora)

# **Energia Elétrica e Sustentabilidade**

## **2**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### **Conselho Editorial**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b> <b>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E56	Energia elétrica e sustentabilidade 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Jaqueline Oliveira Rezende. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Energia Elétrica e Sustentabilidade; v. 2)  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-85107-46-8 DOI 10.22533/at.ed.468180110  1. Desenvolvimento energético – Aspectos ambientais. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Energia elétrica. I. Rezende, Jaqueline Oliveira.  CDD 338.4
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A sustentabilidade pode ser entendida como a capacidade de o ser humano utilizar os recursos naturais para satisfazer as suas necessidades sem comprometer esses recursos para atender as gerações futuras. Nesse contexto, a sustentabilidade está inter-relacionadas em diversos setores, sendo os principais o social, o ambiental e o econômico. Dessa forma, constitui um dos desafios da sociedade moderna o desenvolvimento sustentável que objetiva preservar o meio ambiente durante a realização de outras atividades.

A energia elétrica representa um dos principais pilares para o progresso econômico de uma nação e, conseqüentemente, para o atendimento de inúmeras necessidades da humanidade. Portanto, esse setor também tem se preocupado com a geração, a transmissão, a distribuição de energia elétrica e a construção de novos empreendimentos, como as usinas hidrelétricas, de maneira a preservar o meio ambiente. Logo, a Engenharia Elétrica tem apresentado significativas pesquisas e resultados de ações pautadas na sustentabilidade.

Neste ebook é possível notar que a relação da Engenharia Elétrica e a Sustentabilidade é de preocupação de diversos profissionais envolvidos nesse setor, sendo esses advindos da academia, das concessionárias de energia elétrica e do governo. Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação da preservação do meio ambiente na engenharia elétrica.

Inicialmente são apresentados artigos que discorrem sobre o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade ambiental, custos ambientais em empreendimentos de geração de energia elétrica, recuperação ambiental, conservação da fauna, políticas administrativas e direcionamento de resíduos eletrônicos.

Em seguida, são descritos estudos sobre formas de geração de energia elétrica renováveis não convencionais, sendo apresentadas a energia eólica e a energia solar fotovoltaica. Essas formas de geração contribuem para o desenvolvimento sustentável, uma vez que geram energia elétrica utilizando recursos naturais não finitos, o vento na geração eólica e o sol na geração fotovoltaica.

Além disso, neste exemplar são expostos artigos que contemplam diversas áreas da engenharia elétrica, como redes smart grids, sistema de proteção, operação remota de usinas hidrelétricas, inteligência computacional aplicada a usina termelétrica, transformadores de potência, linhas de transmissão, tarifa horária, lâmpadas led, prevenção de acidentes em redes de média tensão e eficiência energética.

**Jaqueline Oliveira Rezende**

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PROSPECÇÃO DE PARQUES HIDROKINÉTICOS ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROJETOS NOS RIOS IGUAÇU E PARANÁ	
<i>Marcos Aurélio de Araujo</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
TROCADOR DE CALOR – INOVAÇÃO NO AQUECIMENTO DE ÁGUA, FUNCIONAMENTO, RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM TECNOLOGIAS SEMELHANTES	
<i>Odair Deters</i>	
<i>Paulo Valdocci Pereira</i>	
<i>Valério Monteiro</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
SISTEMA ÓPTICO CWDM COMO PLATAFORMA DE MONITORAÇÃO DE ATIVOS E DE COMUNICAÇÃO DE DADOS PARA REDES SMART GRIDS	
<i>João Batista Rosolem</i>	
<i>Danilo César Dini</i>	
<i>Claudio Antonio Hortêncio</i>	
<i>Eduardo Ferreira da Costa</i>	
<i>Rivael Strobel Penze</i>	
<i>João Paulo Vicentini Fracarolli</i>	
<i>Carlos Alexandre Meireles Nascimento</i>	
<i>Vítor Faria Coelho</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
PORTAL OPERACIONAL DE EQUIPAMENTOS ESPECIAIS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO - UMA FERRAMENTA PARA GESTÃO DA CONFORMIDADE E DA CONTINUIDADE NO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA	
<i>Rafael Cassiolato de Freitas</i>	
<i>Sadi Roberto Schiavon</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SAMUEL	
<i>Davi Carvalho Moreira</i>	
<i>Daniel Simões Pires</i>	
<i>Danilo Gomes Matias</i>	
<i>Heleno Fülber</i>	
<i>Bruno Merlin</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>62</b>
OPERAÇÃO REMOTA DE USINAS PELO CENTRO DE OPERAÇÃO DA GERAÇÃO DA ELETROBRAS ELETRONORTE	
<i>Davi Carvalho Moreira</i>	
<i>Daniel Simões Pires</i>	
<i>Danilo Gomes Matias</i>	
<i>Juliano Cortes de Souza</i>	
<i>Leonardo Siqueira Rodrigues</i>	
<i>Heleno Fülber</i>	
<i>Bruno Merlin</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>70</b>
ABORDAGEM DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL APLICADA PARA MODELAGEM PREDITIVA DE EMISSÕES DE NOX E CO DE UMA TURBINA A GÁS DE UMA USINA TERMELÉTRICA DE CICLO COMBINADO	
<i>Eduardo Massashi Yamao</i>	
<i>Juliano Pierezan</i>	

*João Paulo Silva Gonçalves*  
*Marcos Cesar Gritti*  
*Luís Gustavo Tomal Ribas*  
*Flávio Chiesa*  
*Victor Manuel Lopes dos Santos*  
*Marcos de Freitas*  
*André da Silva Orlandi*  
*Leandro dos Santos Coelho*

**CAPÍTULO 8 ..... 82**

CONFIRMAÇÃO DA EFICÁCIA DO ENSAIO DE RESPOSTA DO DIELÉTRICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E BUCHAS CAPACITIVAS COMO TÉCNICA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA

*Hugo Rafael Freitas Negrão*  
*Fernando de Souza Brasil*  
*Bárbara Medeiros Campos*  
*Maria Emília de Lima Tostes*  
*Jorge Augusto Siqueira Tostes*  
*Paulo Roberto Moutinho de Vilhena*

**CAPÍTULO 9 ..... 96**

A EXPERIÊNCIA DA ELETRONORTE NA IMPLANTAÇÃO DA ANÁLISE DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA PARA DIAGNÓSTICO DE REATORES E TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

*Vanessa de Cássia Viana Martins Beltrão*

**CAPÍTULO 10 ..... 113**

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA LINHA DE TRANSMISSÃO 230 KV DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE RONDÔNIA OPERANDO COM CABOS PARA-RAIOS ISOLADOS E ENERGIZADOS EM MÉDIA TENSÃO

*José Ezequiel Ramos*  
*Alexandre Piantini*  
*Ary D'Ajuz*  
*Valdemir Aparecido Pires*  
*Paulo Roberto de Oliveira Borges*

**CAPÍTULO 11 ..... 126**

ESTUDO DE APLICAÇÃO DO DISPOSITIVO SVC NA LINHA DE TRANSMISSÃO MESQUITA VIANA II

*Alcebíades Rangel Bessa*  
*Lucas Frizera Encarnação*  
*Paulo José Mello Menegáz*

**CAPÍTULO 12 ..... 143**

IMPLANTAÇÃO DA LINHA DE TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEA 230KV CIRCUITO DUPLO DA COPEL

*Márcio Tonetti*  
*Ilmar da Silva Moreira*  
*João Nelson Hoffmann*

**CAPÍTULO 13 ..... 153**

TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO: ESTUDO POR INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E ACOPLAMENTO MAGNÉTICO RESSONANTE

*Guilherme Hideki Shibukawa*  
*Eric Eduardo Goveia Pandolfo*  
*Ricardo Andreola*  
*Emerson Charles Martins da Silva*

**CAPÍTULO 14 ..... 168**

TARIFAS HORÁRIAS PARA SISTEMA DE TRANSMISSÃO CONSIDERANDO O SINAL LOCACIONAL

*Marcio Andrey Roselli*  
*André Meister*

*Denis Perez Jannuzzi*  
*Robson Kuhn Yatsu*  
*André Veiga Gimenes*  
*Miguel Edgar Morales Udaeta*

**CAPÍTULO 15..... 178**

AVALIAÇÃO DAS LÂMPADAS LED NO MERCADO BRASILEIRO (ARTIGO APRESENTADO NO XXIV SNPTEE)

*Alessandra da Costa Barbosa Pires de Souza*  
*Maurício Barreto Lisboa*  
*Willians Felipe de Oliveira Rosa*

**CAPÍTULO 16..... 185**

AVALIAÇÃO DO MÉTODO INDEPENDENTE DE MEDIÇÃO DE PERTURBAÇÕES RADIADAS – ANEXO B DA CISPR 15 (ARTIGO APRESENTADO NO XXIV SNPTEE)

*Alessandra da Costa Barbosa Pires de Souza*  
*Maurício Barreto Lisboa*  
*Willians Felipe de Oliveira Rosa*

**CAPÍTULO 17 ..... 193**

PADRÕES DE QUALIDADE PARA SERVIÇOS DE PINTURA ANTICORROSIVA APLICADOS AO SETOR ELÉTRICO

*Alberto Pires Ordine*  
*Cristina da Costa Amorim*  
*Marcos Martins de Sá*  
*Elber Vidigal Bendinelli*

**CAPÍTULO 18..... 209**

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO, PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE TECNOLOGIAS DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVA PARA ESTRUTURAS ENTERRADAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

*Cristina da Costa Amorim*  
*Alberto Pires Ordine*  
*Marcos Martins de Sá*  
*Wendell Porto de Oliveira*

**CAPÍTULO 19..... 221**

ANÁLISE DE QUASE-ACIDENTES, OCORRIDOS NA ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE MÉDIA TENSÃO, COMO MEIO EFICAZ E PROATIVO NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES

*Cristiano José Gober*  
*Cresencio Silvio Segura Salas*

**CAPÍTULO 20..... 235**

PORTAL R3E COMO FERRAMENTA INDUTORA E DISSEMINADORA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

*Clara Ovídio de Medeiros Rodrigues*  
*Marcelo Bezerra de Melo Tinoco*  
*Aldomar Pedrini*  
*Edison Alves Portela Junior*  
*João Queiroz Krause*  
*Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira*  
*Fernando Pinto Dias Perrone*

**CAPÍTULO 21..... 246**

HIERARQUIA DAS NECESSIDADES E RESILIÊNCIA NO PAGAMENTO DE SERVIÇOS PÚBLICOS UTILIZADOS: UM ESTUDO DE CASO VOLTADO A ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

*Ana Lúcia Rodrigues da Silva*  
*Fernando Amaral de Almeida Prado Jr.*  
*Carolina Rodrigues de Almeida Prado*

**CAPÍTULO 22 ..... 258**

PROJETO PILOTO PARCELAMENTO PRÓ-ATIVO DE DÉBITOS DE IRREGULARIDADE

*Diego Rivera Mendes*

*Julio Eloi Hofer*

*Rafael Luís de Avila*

**CAPÍTULO 23 ..... 267**

MODELAGEM ESTRATÉGICA PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ANTECIPAÇÃO DO ATENDIMENTO AO CLIENTE PARA A MELHORIA OPERACIONAL E DE SERVIÇOS

*Carlos Alberto Fróes Lima*

*Anderson Diego Machiaveli*

*Luciano E. A. Peres*

*Tales Neves Anarelli*

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 287**

## PROSPECÇÃO DE PARQUES HIDROKINÉTICOS ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROJETOS NOS RIOS IGUAÇU E PARANÁ

**Marcos Aurélio de Araujo**

Universidade Federal da Integração Latino-  
Americana

Foz do Iguaçu - Paraná

**RESUMO:** Neste trabalho é apresentado uma análise preliminar e comparativa entre dois estudos de prospecção de parques hidrocínéticos, um no rio Iguaçu e outro no rio Paraná. Cada parque desta proposta comportará duas turbinas de 500 kW, totalizando 1 MW de potência instalada. O propósito do estudo é relacionar os pontos que influenciam na prospecção de um parque hidrocínético, fornecendo as ferramentas necessárias para fazer uma avaliação preliminar, evitando com isso investimentos desnecessários em estudos que podem ser realizados em um projeto mais detalhado. Analisando os resultados, constata-se que o empreendimento no rio Paraná aproveita melhor a capacidade das turbinas hidrocínéticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Parque Hidrocínético, Turbina Hidrocínética, Projeto Tucunaré, Rio Iguaçu, Rio Paraná.

**ABSTRACT:** In this work a preliminary and comparative analysis was carried out between the prospecting studies of hydrokinetic parks, in the Iguaçu river and another in the Paraná river.

Each park of this proposal will have two 500 kW turbines, totaling 1 MW of installed power. The purpose of the study is to relate the points that influence the prospecting of a hydrokinetic park, providing the tools necessary tools to carry out a preliminary evaluation, avoiding investments in projects that can be carried out in a more detailed project. Analyzing the results, it is verified that the Paraná River venture makes better use of hydrokinetic turbine capacity.

**KEYWORDS:** Hydrokinetic Park, Hydrokinetic Turbine, Tucunaré Project, Iguaçu River, Paraná River.

### 1 | INTRODUÇÃO

Para obtenção de energia elétrica de fontes renováveis e ambientalmente correta é necessário um estudo inicial, no qual verifica-se a viabilidade do potencial disponível. Os aspectos considerados para determinar a viabilidade do projeto, levam em conta os critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais. O atendimento a esses requisitos é importante, pois, mesmo havendo disponibilidade de uma fonte de energia e não havendo demanda, o projeto não alcançará os objetivos econômicos e sociais. Da mesma forma, se o projeto de alguma forma comprometer o ecossistema, prejudicará a qualidade do ar, da água ou da

vegetação, provocando mais transtornos que benefícios. A questão técnica envolve uma análise do potencial disponível e a verificação da melhor maneira de obtenção dessa energia, de forma que o aproveitamento tenha o rendimento esperado.

Neste trabalho, foi investigado o aproveitamento da energia cinética do fluxo da água e sua conversão em energia elétrica. Para essa análise foram escolhidos dois locais, em rios de diferentes portes, porém que comportavam o mesmo equipamento para a conversão de energia. Nos locais foram simulados Parques Hidrocinéticos (PHC) com potência nominal de 1 MW, contendo duas Turbinas Hidrocinéticas (THCs) de 500 kW. Os locais escolhidos para o estudo são os rios Iguaçu e Paraná, por apresentarem todas as condições necessárias para instalação de um PHC. Esses locais são ilustrados na Figura 1.

### 1.1 Justificativa

O estudo para determinar se um local comporta um PHC, requer as medições da profundidade do rio e da velocidade do curso d'água, porém, durante a prospecção, uma avaliação preliminar é suficiente para selecionar ou descartar prováveis locais. Este trabalho compara dois locais com características distintas, porém, em um primeiro momento, aptos a receber um PHC com o mesmo potencial. Essa análise preliminar evita investimentos desnecessários em estudos que podem ser realizados em um projeto mais detalhado.



Figura 1 - Locais escolhidos para o estudo de instalação de PHC

### 1.2 Projeto Tucunaré

As Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (Eletronorte) juntamente com a UnB em parceria com a Unicamp, UFPA, UFMG e UNIFEI, desenvolvem um estudo denominado Projeto Tucunaré, que visa introduzir Parques Hidrocinéticos Fluviais no Brasil. Essa parceria rendeu vários trabalhos acadêmicos, tendo em vista aumentar

o conhecimento acerca do assunto. A princípio o propósito do estudo é instalar uma unidade demonstrativa de 1 MW, usando duas turbinas de 500 kW, para aproveitamento da energia hídrica residual e já turbinada pela Usina Hidrelétrica de Tucuruí, no rio Tocantins, estado do Pará.

As características gerais da THC do Projeto Tucunaré são mostradas na Tabela 1, enquanto as condições de operação prevista para esse projeto são apresentadas na Tabela 2 e por fim, as principais dimensões são exibidas na Tabela 3:

CARACTERÍSTICAS GERAIS
Eixo horizontal e fluxo axial
Rotor com três pás
Balsa flutuante ancorada
Gerador submerso

Tabela 1 - Características gerais

GRANDEZA	VALOR PREVISTO
Potência elétrica gerada	500 kW
Velocidade de corrente do rio	1,7 a 2,5 m/s
Rotação nominal da turbina	25 rpm
Potência nominal	160 kW (1,7 m/s) e 500 kW (2,5 m/s)

Tabela 2 - Condições de operação prevista (TEIXEIRA, 2014)

GRANDEZA	VALOR PREVISTO
Diâmetro do rotor	10 m
Largura da carenagem da nacele	2 m
Comprimento total	5,3 m
Massa total	17.000 kg

Tabela 3 - Principais dimensões (TEIXEIRA, 2014)

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Escolha do local

De acordo com as características, condições de operação e dimensões da THC dimensionada para o Projeto Tucunaré, deve-se escolher um trecho no leito do rio onde obtém-se o melhor rendimento para instalar as turbinas. Foi definido para o rio Iguaçu o ponto nas coordenadas de latitude 25°36'58.98"S e longitude 54°29'44.07"O e para o rio Paraná o ponto nas coordenadas de latitude 25°32'37.81"S e longitude 54°35'37.12"O, por apresentarem largura menor que o restante do rio no trecho de interesse.

## 2.2 Fluviograma

O levantamento de dados de vazão foi obtido de estações fluviométricas, através do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) elaborado pela Agência Nacional de Águas (BRASÍLIA, 2016), que possibilitou a caracterização do regime hidrológico ao longo do ano. Foram escolhidos o posto fluviométrico Salto Cataratas (Código ANA 65993000) no rio Iguaçu e o posto fluviométrico Itaipu R-2 (Código ANA 64903000) no rio Paraná, para servirem de base para a obtenção da série de vazões utilizadas para dimensionamento do PHC. Com as informações das estações fluviométricas, foram obtidos os dados das vazões para o rio Iguaçu no período entre janeiro de 1998 a dezembro de 2007 e para o rio Paraná no período entre janeiro de 2003 a dezembro de 2012.

## 2.3 Área hidráulica

A área hidráulica, necessária para estimar a velocidade do rio em qualquer altura de cota, é determinada através do cálculo de polígonos irregulares pelo método do Produto em Cruz (ROMERO, 2016), conforme equação abaixo:

$$A = \frac{1}{2} * \left\{ \left[ \sum_{i=1}^{i=n-1} \left( (x_i * y_{i+1}) - (y_i * x_{i+1}) \right) \right] + \left[ (x_n * y_1) - (y_n * x_1) \right] \right\} [m^2] \quad (1)$$

Onde:

A : área do polígono irregular [m<sup>2</sup>]

x e y : coordenadas dos vértices do polígono

## 2.4 Secção transversal do rio

A secção transversal do rio Iguaçu foi obtida com dados fornecidos pela Itaipu Binacional (OPSH.DT, 2016), enquanto que a secção transversal do rio Paraná, foi obtido de Gamaro (GAMARO, 2012). Com base no perfil transversal dos rios Iguaçu e Paraná, foram montadas tabelas, a partir desses dados foram traçadas as linhas de tendência e as respectivas equações para largura, perímetro e área, as quais são utilizadas para o cálculo da energia produzida pela THC. Os perfis transversais gerados pela planilha do Microsoft Office Excel são mostrados nas Figuras 2 e 3.

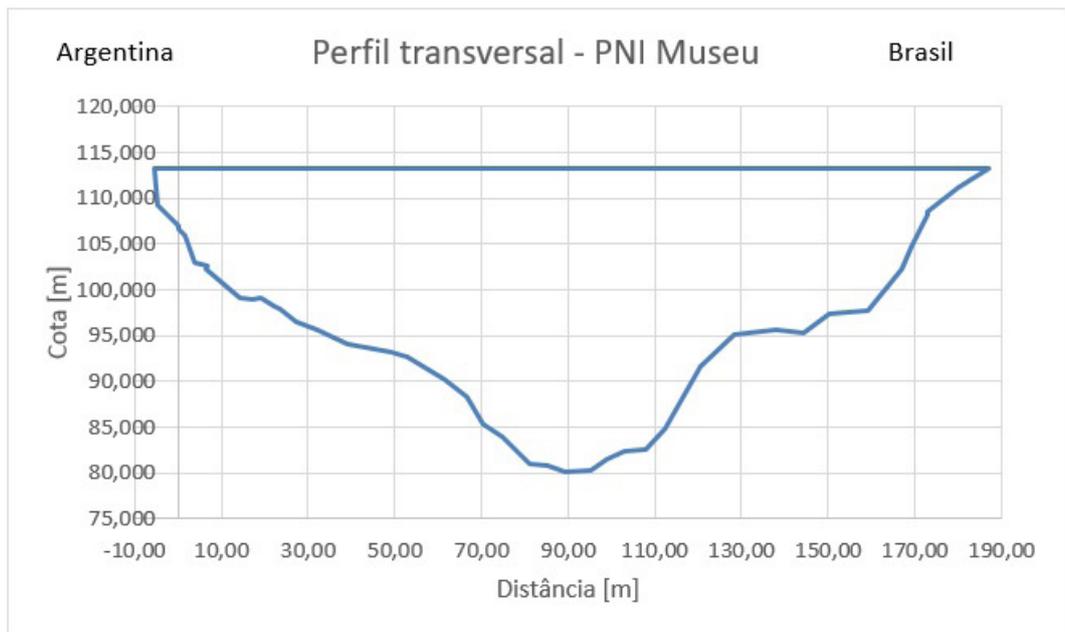


Figura 2 - Perfil transversal do rio Iguaçu no posto fluviométrico PNI Museu

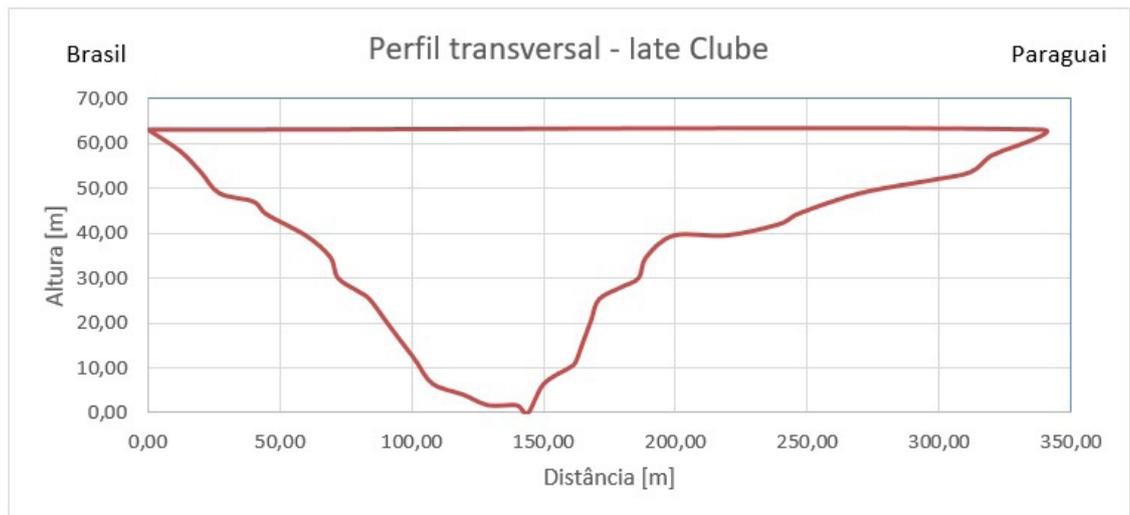


Figura 3 - Perfil transversal do rio Paraná no posto fluviométrico late Clube

## 2.5 Estimativa da energia gerada

Para estimar a energia anual gerada pelos PHCs, foi usado a vazão média relativa aos meses. Para obtenção dos valores da Área (A), Perímetro (P) e Raio hidráulico (Rh) da secção transversal onde será instalado as THCs, foram utilizadas as equações obtidas através das curvas Vazão versus Altura, Largura, Área e Perímetro. As demais equações são apresentadas abaixo:

Vazão:

$$Q \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (2)$$

Velocidade média:

$$v = \frac{Q}{A} \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (3)$$

Número de Froude:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \frac{A}{B}}} \quad (4)$$

Número de voltas:

$$n = 12 \cdot v \left[ \frac{rev}{m} \right] \quad (5)$$

Velocidade angular:

$$\omega = n \cdot \frac{2\pi}{60} \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad (6)$$

Razão de velocidade de ponta:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{v} \quad (7)$$

Coefficiente de potência:

$$C_p = 0,0019 \cdot \lambda^3 - 0,0582 \cdot \lambda^2 + 0,5956 \cdot \lambda - 0,995 \quad (8)$$

Potência hidrocínética:

$$P_{hc} = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v^3 [W] \quad (9)$$

Potência elétrica:

$$P_{el} = \frac{\eta_g \cdot C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v^3}{1000} [kW] \quad (10)$$

Energia produzida:

$$EP(m\hat{e}s) = \frac{P_{el} \cdot (n^\circ \text{ dia } m\hat{e}s) \cdot 24h}{1000} [MWh] \quad (11)$$

Onde:

g : Aceleração da gravidade, igual a 9,81 [m/s<sup>2</sup>]

R : Raio do rotor da turbina, igual a 5 [m]

ρ : massa específica da água, igual a 998 [kg/m<sup>3</sup>]

D : diâmetro do rotor, igual a 10 [m]

v : velocidade média do curso d'água [m/s]

η<sub>g</sub> : Rendimento geral

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As planilhas com os valores já calculados, para as THCs instaladas nos rios Iguazu e Paraná, são apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

Mês	Q Vazão [m³/s]	Área da seção molhada [m²]	v Velocidade média [m/s]	n N° de voltas [rev/m]	$\omega$ Velocidade angular [rad/s]	$\lambda$ Razão de velocidade de ponta	Potência elétrica [kW]	Energia produzida [MWh/mês]
jan	1260,97	1669,87	0,76	9,06	0,95	6,28	13,99	10,41
fev	1721,06	2091,31	0,82	9,88	1,03	6,28	18,10	12,17
mar	1388,05	1799,97	0,77	9,25	0,97	6,28	14,90	11,08
abr	1888,31	2216,95	0,85	10,22	1,07	6,28	20,07	14,45
maio	1880,69	2211,47	0,85	10,21	1,07	6,28	19,98	14,86
jun	1348,95	1761,25	0,77	9,19	0,96	6,28	14,59	10,51
jul	1510,06	1914,11	0,79	9,47	0,99	6,28	15,95	11,87
ago	1427,98	1838,39	0,78	9,32	0,98	6,28	15,22	11,33
set	1913,30	2234,76	0,86	10,27	1,08	6,28	20,38	14,68
out	2669,86	2686,17	0,99	11,93	1,25	6,28	31,89	23,73
nov	1789,19	2143,90	0,83	10,01	1,05	6,28	18,88	13,59
dez	1410,70	1821,89	0,77	9,29	0,97	6,28	15,08	11,22
Energia anual gerada [MWh/ano]								<b>159,89</b>

Tabela 4 - Energia anual produzida no rio Iguazu

Mês	Q Vazão [m³/s]	Área da seção molhada [m²]	v Velocidade média [m/s]	n N° de voltas [rev/m]	$\omega$ Velocidade angular [rad/s]	$\lambda$ Razão de velocidade de ponta	Potência elétrica [kW]	Energia produzida [MWh/mês]
jan	13009	9269,33	1,40	16,84	1,76	6,28	89,80	66,81
fev	13974	9645,41	1,45	17,38	1,82	6,28	98,77	66,37
mar	12719	9148,98	1,39	16,68	1,75	6,28	87,28	64,94
abr	12045	8856,02	1,36	16,32	1,71	6,28	81,73	58,84
maio	10473	8102,69	1,29	15,51	1,62	6,28	70,15	52,19
jun	10571	8152,18	1,30	15,56	1,63	6,28	70,82	50,99
jul	10315	8021,21	1,29	15,43	1,62	6,28	69,08	51,39
ago	10339	8033,84	1,29	15,44	1,62	6,28	69,24	51,51
set	9946	7827,57	1,27	15,25	1,60	6,28	66,63	47,97
out	11294	8508,20	1,33	15,93	1,67	6,28	75,97	56,52
nov	11094	8412,06	1,32	15,83	1,66	6,28	74,51	53,65
dez	11746	8720,50	1,35	16,16	1,69	6,28	79,39	59,06
Energia anual gerada [MWh/ano]								<b>680,26</b>

Tabela 5 - Energia anual produzida no rio Paraná

A energia produzida anualmente por cada THC no rio Iguazu é de 159,89 MWh, como o PHC possui duas THCs, a produção fica em 319,78 MWh. Quanto a energia produzida por cada THC no rio Paraná, o valor é de 680,26 MWh, com uma produção anual de 1.360,52 MWh para as duas turbinas. Constata-se que o rio Paraná possui um potencial energético maior que o rio Iguazu, cerca de 4 vezes, com isso, aproveitando melhor a capacidade das THCs. Para verificação da viabilidade técnica, foi calculado

e comparado o Fator de Capacidade (FC) do PHC em ambos os rios. O cálculo do FC, considerando o período de 1 ano, usa a seguinte equação:

$$FC = \frac{EAG}{\Delta t * P_n} \quad (12)$$

Onde:

FC = Fator de capacidade

EAG = Energia anual gerada [MWh/ano]

$\Delta t = 24h * 365 \text{ dias} = 8760 \text{ [h]}$

$P_n = \text{Potência nominal do PHC} = (2 * 500 \text{ kW})/1000 = 1 \text{ [MWh]}$

Para o parque no rio Iguaçu o FC fica:

$$FC = \frac{319,78}{8760 * 1} = 0,0365 \text{ ou } 3,65 \%$$

Para parque no rio Paraná o FC fica:

$$FC = \frac{1360,52}{8760 * 1} = 0,1553 \text{ ou } 15,53 \%$$

O FC de 3,65 %, inviabiliza o PHC no rio Iguaçu, quanto ao PHC no rio Paraná, para que seja viável sua instalação, há necessidade de melhorar no FC, por exemplo, posicionando as turbinas em pontos de maior velocidade do rio.

## 4 | CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que independente do porte do rio, após os estudos preliminares, o trecho escolhido para instalação, deve ainda ser submetido a batimetria, para comprovação de seu perfil transversal e uma aferição da velocidade do rio com equipamentos, como por exemplo ADCP. Isso é necessário para que se possa posicionar a THC no local onde a velocidade do rio é mais alta, consequentemente melhorando o Fator de Capacidade.

## REFERÊNCIAS

BRASÍLIA. Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos. Agência Nacional das Águas (Ed.). **Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas**. 2016. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 1 jun. 2016.

GAMARO, P. E. **Medidores Acústicos Doppler de Vazão**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2012. 164 p.

OPSH.DT, Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos, Itaipu Binacional. **Hidrologia do Rio**

**Iguaçu após Cataratas [mensagem pessoal].** Mensagem recebida por <glaucio.roloff@unila.edu.br> em 12 ago.2016.

ROMERO, I. **Cálculo en Excel del área de un polígono irregular - producto en cruz.** 2012. Disponível em: <<http://exclforo.blogspot.com.br/2012/10/calculo-en-excel-del-area-de-un.html>>. Acesso em: 1 jun. 2016.

TEIXEIRA, R. A. G. **Montagem e Instalação de Turbinas Hidrocinéticas.** 2014. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Jaqueline Oliveira Rezende** Possui graduação em Engenharia Elétrica, com certificado de estudos em Engenharia de Sistemas de Energia Elétrica e mestrado em Engenharia Elétrica, ambos pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atualmente é aluna de doutorado em Engenharia Elétrica, no Núcleo de Dinâmica de Sistemas Elétricos, pela Universidade Federal de Uberlândia. Atuou como professora nos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação. Tem realizado pesquisas em Sistemas de Energia Elétrica, dedicando-se principalmente às seguintes áreas: Energia Solar Fotovoltaica; Curvas Características de Painéis Fotovoltaicos; Dinâmica de Sistemas Elétricos; Geração Distribuída; Simulação Computacional; Algoritmo Genético.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-46-8

