



# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
(ORGANIZADORA)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020



# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
(ORGANIZADORA)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

## **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

## Engenharia na prática: importância teórica e tecnológica

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Franciele Braga Machado Tullio

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharia na prática [recurso eletrônico] : importância teórica e tecnológica / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-308-8

DOI 10.22533/at.ed.088202408

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 3. Prática de ensino. I. Tullio, Franciele Braga Machado.

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia na Prática: Importância Teórica e Tecnológica” contempla vinte e oito capítulos com pesquisas relacionadas a diversos temas da engenharia.

Os estudos refletem a teoria obtida em livros, normas, artigos na prática, verificando sua aplicabilidade.

O desenvolvimento de novos materiais e a utilização de novas tecnologias partem de estudos já realizados, o que garante desenvolvimento nas diversas áreas da engenharia, gerando novas alternativas.

O estudo sobre o comportamento de materiais permite o aperfeiçoamento de materiais já existentes e proporciona uma otimização na execução de novos projetos.

O uso de energia limpa também é um tema muito abordado, tendo em vista a necessidade de otimização de recursos naturais.

Esperamos que esta obra proporcione uma leitura agradável e contribua para a geração de novos estudos, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A CONTRIBUIÇÃO FÍSICA E MATEMÁTICA PARA O APERFEIÇOAMENTO DO TIRO COM ARCO**

Eduardo Franzoi  
Andrei Buse  
Mateus Filipi Moresco Jorge

**DOI 10.22533/at.ed.0882024081**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **A INFLUÊNCIA DO NIÓBIO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ALUMÍNIO: UMA REVISÃO**

Márcio Valério Rodrigues de Mattos  
Gustavo Takehara Silva  
Vinicius Torres dos Santos  
Marcio Rodrigues da Silva  
Antonio Augusto Couto  
Givanildo Alves dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.0882024082**

### **CAPÍTULO 3..... 21**

#### **ANÁLISE CRÍTICA COMPARATIVA ENTRE A NORMA ISO 29110 E O MODELO MPS.BR NÍVEL G**

Nilson Salvetti  
André Rivas  
Ivanir Costa

**DOI 10.22533/at.ed.0882024083**

### **CAPÍTULO 4..... 33**

#### **ANÁLISE DA ADERÊNCIA AO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO INSTITUCIONAL: ABORDAGEM BASEADA EM REDES BAYESIANAS**

Danilo de Souza Novaes  
Roseno Nunes de Almeida Neto  
Silvana Rossy de Brito  
Aleksandra do Socorro da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.0882024084**

### **CAPÍTULO 5..... 46**

#### **ANÁLISE PARAMÉTRICA DA INJEÇÃO DE POLÍMEROS EM UM CAMPO DE PETRÓLEO DA BACIA POTIGUAR**

Beatriz Ferraz Martins  
Jardel Dantas da Cunha  
Andréa Francisca Fernandes Barbosa  
Ricardo Henrique Rocha de Carvalho  
Antonio Robson Gurgel

**DOI 10.22533/at.ed.0882024085**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 6.....</b>   | <b>55</b> |
| BIOSORPTION OF OXYTETRACYCLINE FROM WATER USING MORINGA OLEÍFERA SHELLS  |           |
| Agustina De Olivera  |           |
| Ramiro Martins   |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.0882024086</b>   |           |
| <b>CAPÍTULO 7.....</b>   | <b>64</b> |
| COLETA SELETIVA NO UNIFOA – IMPLANTAÇÃO DE PROCESSO PILOTO NO PRÉDIO 18: SENSIBILIZAÇÃO DA COMUNIDADE INTERNA SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS |           |
| Pedro Saturno Braga  |           |
| Camila Duarte Silva  |           |
| Lucas Marques Correa Ignácio   |           |
| Sabrina de Jesus Oliveira Cozzolino  |           |
| Sabrina Pires Arantes  |           |
| Roberto Guião de Souza Lima Júnior   |           |
| Ana Carolina Callegario Pereira  |           |
| Denise Celeste Godoy de Andrade Rodrigues  |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.0882024087</b>   |           |
| <b>CAPÍTULO 8.....</b>   | <b>74</b> |
| DESEMPENHO TÉRMICO DOS TELHADOS VERDES EM RELAÇÃO AOS TELHADOS CONVENCIONAIS   |           |
| Sergio Quezada García  |           |
| Marco Antonio Polo Labarrios   |           |
| Heriberto Sánchez Mora   |           |
| Manuela Azucena Escobedo Izquierdo   |           |
| Ricardo Isaac Cázares Ramírez  |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.0882024088</b>   |           |
| <b>CAPÍTULO 9.....</b>   | <b>88</b> |
| DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE AUTOMÁTICA POR COMANDO DE SINAL ELETROMIOGRAFICO  |           |
| Jefferson Rodrigo Moreira de Sousa   |           |
| Rafael Bastos Duarte   |           |
| André Luiz Patrício França   |           |
| Sara Carreiro Beloni   |           |
| José Wanderson Oliveira Silva  |           |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.0882024089</b>   |           |
| <b>CAPÍTULO 10.....</b>  | <b>99</b> |
| EFEITOS DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA IONIZANTE EM EQUIPAMENTOS ODONTOLÓGICOS  |           |
| Alessandro Márcio Hakme Da Silva   |           |
| Marcelo Caetano Oliveira Alves   |           |
| Thiago Augusto Neiva Spironelli  |           |
| Eduardo Souza Sims   |           |

Patrícia Garani Fernandes  
Fernanda Florian  
Fabiana Florian  
Marcello Cláudio de Gouvea Duarte  
**DOI 10.22533/at.ed.08820240810**

**CAPÍTULO 11.....113**

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DO SINAL ATRIAL FIBRILATÓRIO NO ELETROCARDIOGRAMA**

Miriam Ferraz de Paulo  
Eduardo Guy Perpétuo Bock  
Dalmo Antonio Ribeiro Moreira

**DOI 10.22533/at.ed.08820240811**

**CAPÍTULO 12.....117**

**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA ADICIÓN DE GLICERINA COMO CO-SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS**

María Isabel García Rodríguez  
Marcos Vinícius Konopka  
Matheus Vitor Diniz Gueri  
Andreia Cristina Furtado

**DOI 10.22533/at.ed.08820240812**

**CAPÍTULO 13..... 127**

**ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EXEGÉTICA DE UM PROCESSO SPRAY DRYER ALIMENTADO POR ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL**

Antonio Rimaci Miguel Junior  
Valmir da Cruz de Souza  
Alex Alisson Bandeira Santos

**DOI 10.22533/at.ed.08820240813**

**CAPÍTULO 14..... 136**

**ESTUDO DE APLICAÇÃO DA TURBINA DE TESLA COMO MICROGERADOR**

Eloi Rufato Junior  
Alison Baena de Oliveira Monteiro  
Ricardo Ribeiro dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.08820240814**

**CAPÍTULO 15..... 158**

**ESTUDO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR DEJETOS BOVINOS**

Marcos Vinícius Konopka  
María Isabel Garcia Rodriguez  
Denis Porfirio Viveros Rodas  
Andreia Cristina Furtado

**DOI 10.22533/at.ed.08820240815**

|  |            |
|--|------------|
| <b>CAPÍTULO 16.....</b>  | <b>167</b> |
| ESTUDO PARA CONTROLE DE EMPENAMENTO EM PEÇAS INDUSTRIAIS TEMPERADAS  |            |
| João Alfredo Scheidemantel   |            |
| Christian Doré   |            |
| Lucile Cecília Peruzzo   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.08820240816</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 17.....</b>  | <b>179</b> |
| EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES DO TIPO TUBULÃO CONFORME ORIENTAÇÕES DA NOVA NR-18 DE 10 DE FEVEREIRO DE 2020                      |            |
| José Henrique Maciel de Queiroz  |            |
| Fabíola Luana Maia Rocha   |            |
| Francisco Kléber Dantas Duarte   |            |
| Caio Guilherme Ferreira Abrantes   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.08820240817</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 18.....</b>  | <b>187</b> |
| INFLUÊNCIA DE LEVEDURAS LISAS E RUGOSAS NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL EM ESCALA INDUSTRIAL                                    |            |
| Teresa Cristina Vieira Viana   |            |
| Rafael Resende Maldonado   |            |
| Eliana Setsuko Kamimura  |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.08820240818</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 19.....</b>  | <b>199</b> |
| INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DENDRÍTICO SECUNDÁRIO NA DUREZA DA LIGA CU-14AL-5NI-5FE OBTIDA POR SOLIDIFICAÇÃO UNIDIRECIONAL |            |
| Rogério Teram  |            |
| Givanildo Alves dos Santos   |            |
| Maurício Silva Nascimento  |            |
| Antonio Augusto Couto  |            |
| Vinícius Torres dos Santos   |            |
| Márcio Rodrigues da Silva  |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.08820240819</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 20.....</b>  | <b>211</b> |
| INTERFAZ PARA LA OPERACIÓN REMOTA DE UN MANIPULADOR MITSUBISHI MOVEMASTER RV-M1  |            |
| Luini Leonardo Hurtado Cortés  |            |
| John Alejandro Forero Casallas   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.08820240820</b>  |            |
| <b>CAPÍTULO 21.....</b>  | <b>221</b> |
| LA EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SU INCIDENCIA EN REPROBACIÓN Y DESERCIÓN        |            |
| M. en C. Marcial Reyes Cázarez   |            |

**DOI 10.22533/at.ed.08820240821**

**CAPÍTULO 22..... 235**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ESTIMAÇÃO DE CARGA EM BATERIAS DE SÓDIO UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS**

Norah Nadia Sánchez Torres  
Helton Fernando Scherer  
Oswaldo Ando Hideo Junior  
Jorge Javier Gimenez Ledesma

**DOI 10.22533/at.ed.08820240822**

**CAPÍTULO 23..... 247**

**PROSPECÇÃO E ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A ENERGIA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL**

Gustavo Sigal Macedo  
Jorge Alberto Alcalá Vela

**DOI 10.22533/at.ed.08820240823**

**CAPÍTULO 24..... 262**

**PROTOTIPO DE DINÂMICA DE SISTEMAS APLICADO A LA GESTIÓN DE PROYECTOS ACADÉMICOS DE PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA EN CARRERAS DE INFORMÁTICA**

Alice Raquel Rambo  
Mariana Itatí Boari  
Roberto Luis Sueldo  
Ruben Urquijo  
Hector Chripczuk  
Ulises Ramirez

**DOI 10.22533/at.ed.08820240824**

**CAPÍTULO 25..... 273**

**THE MAGNETIC PASSIVE AND SLIDING BEARING SYSTEM WITH AXIAL MAGNETIC REPULSION TO AVOID PIVOT WEAR**

Carlos Frajuca

**DOI 10.22533/at.ed.08820240825**

**CAPÍTULO 26..... 281**

**USO DA LAMA CIMENTICIA COMO SUBSTITUTO DE AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO**

Bruno Matos de Farias  
Érika Teles dos Santos  
Larissa Barbosa Iulianello  
Sheila Maria Ferreira Campos

**DOI 10.22533/at.ed.08820240826**

|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO 27.....</b>   | <b>301</b> |
| <b>UTILIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS NA RETIRADA DE PETRÓLEO DERRAMADO</b>  |            |
| Ana Caroline Nasaro de Oliveira   |            |
| Júnia Ciriaco de Castro   |            |
| Rosana Aparecida Ferreira Nunes   |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.08820240827</b>   |            |
| <b>CAPÍTULO 28.....</b>   | <b>315</b> |
| <b>UTILIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESPINHEIRA SANTA (<i>Maytenusilicifolia Martiusex Reissek</i>) COMO INIBIDOR DE CORROSÃO ORGÂNICO PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS PARA COMPLETAÇÃO</b> |            |
| Jardel Hugo Gonçalves Paiva   |            |
| Jardel Dantas da Cunha  |            |
| Andréa Francisca Fernandes Barbosa  |            |
| Antonio Robson Gurgel   |            |
| Keila Regina Santana Fagundes   |            |
| Rodrigo Cesar Santiago  |            |
| <b>DOI 10.22533/at.ed.08820240828</b>   |            |
| <b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>  | <b>328</b> |
| <b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>  | <b>329</b> |

# CAPÍTULO 14

## ESTUDO DE APLICAÇÃO DA TURBINA DE TESLA COMO MICROGERADOR

*Data de aceite: 01/07/2020*

### **Eloi Rufato Junior**

UTFPr - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica  
COPEL - Departamento de Energia Eólica.

### **Alison Baena de Oliveira Monteiro**

UTFPr - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica

### **Ricardo Ribeiro dos Santos**

UTFPr - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica

**RESUMO:** A busca e utilização de fontes de energias renováveis tem apresentado grande crescimento nos últimos anos, e tal desenvolvimento trouxe consigo a microgeração distribuída e seus desafios. Sob este viés, o presente trabalho traz a proposta de mais uma fonte renovável a ser aproveitada, com o emprego de uma turbina pouco usual na geração de energia elétrica. Aqui serão apresentados os estudos que abordam o projeto e avaliação de uma Turbina de Tesla aplicada à microgeração distribuída. Para tal, primeiramente foi pesquisado a tendência de crescimento da demanda energética e a contribuição de fontes renováveis, sendo a microgeração a maior representante destas fontes. Foram abordados os aspectos construtivos dos modelos de turbinas consagradas, para efetuar um paralelo

com a Turbina de Tesla e destacar suas diferenças estruturais e dinâmicas. Diferentes autores vêm estudando a Turbina de Tesla, e destacando várias características relevantes como a facilidade de montagem, a versatilidade de aplicação e o baixo custo de produção e manutenção da turbina. Os aspectos citados são de grande importância para atender as demandas de sistemas de microgeração, bem como para o desenvolvimento de um produto para este público. Para projetar a turbina buscou-se um parâmetro inicial, um valor de vazão média, expresso em litros por minuto. Esta informação foi obtida por meio do levantamento de consumo de água de dois condomínios residenciais. A partir da metodologia empregada por diferentes autores, foi projetada e montada uma Turbina de Tesla para a execução de ensaios e levantamento de dados empiricamente. Os ensaios ocorreram com a aplicação dos valores médios de vazão, simulando os valores oriundos da pesquisa de consumo, para a avaliação de desempenho da Turbina tendo um gerador de ímãs permanentes acoplado a ela. Foi obtida uma baixa potência de geração sobre as cargas analisadas, 14 W sobre o resistor de 5 Ohms, e 20 W para o resistor de 50 Ohms, mas podendo ser elevada ao contornar as dificuldades apontadas. Desta forma, a inovação apresentada neste trabalho consiste na abertura de exploração de fontes de força motriz disponível no sistema de abastecimento de água, e outros sistemas hídricos que forneçam vazão suficiente para a geração em pequeno potencial. Os ensaios ocorreram na cidade de Curitiba, Paraná, no ano de 2019.

**PALAVRAS-CHAVE:** Turbina de Tesla. Microgeração distribuída. Hidro turbina. Fontes

renováveis. PMSM (Permanent magnet synchronous motor).

**ABSTRACT:** The search for and use of renewable energy sources has shown a great growth in recent years, and the development of a distributed microgeneration and its challenges. On this bias, the present work brings a proposal of a renewable source to be used, with the use of a more unusual turbine in an electric power generation. Here will be presented the studies that addressed the project and evaluation of a Tesla turbine applied to the distributed microgeneration. It was first investigated the trend of growth in energy demand and the contribution of renewable sources, with microgeneration being the largest representative of these sources. The constructive aspects of established turbine models were addressed, to make a parallel with the Tesla Turbine and highlight their structural and dynamic differences. Different authors have been studying the Tesla Turbine for several relevant features such as ease of assembly, application versatility, and low turbine production and maintenance costs. These aspects are of great importance to meet the demands of microgeneration systems, as well as for the development of a product for this public. To design the turbine, an average flow value, expressed in liters per minute was used as an initial parameter. This information was obtained through the survey of water consumption of two residential condominiums. Based on the methodology used by different authors, a Tesla Turbine was designed and assembled for the execution of tests and empirical data collection. The experiments were carried out with the application of the mean values of flow, simulating the values from the research of consumption. To evaluate the performance of the Turbine, a permanent magnet generator was coupled to it. The innovation presented in this work consists of the exploration of sources of driving force available in the water supply system, and other water systems that provide sufficient flow for a small potential generation. The tests were carried out in the city of Curitiba, Paraná, in the year 2019.

**KEYWORDS:** Tesla Turbine. Distributed microgeneration. Hydro turbine. Renewable sources. PMSM (Permanent magnet synchronous motor).

## 1 | INTRODUÇÃO

Na busca por novas alternativas, e um tema que trouxesse inovação, verificou-se a existência de um modelo de turbina que apresenta características construtivas muito interessantes, e pouco exploradas atualmente. Concebida e patenteada por Nikola Tesla em 6 de maio de 1913, sob o registro 'United States Patent' N°.1061206, a turbina de Tesla tem o diferencial de ser estruturalmente mais simples, quando comparada com modelos Francis, Kaplan ou Pelton, conseqüentemente mitigando o custo de montagem. Tal aspecto despertou o interesse deste estudo sob o viés da microgeração.

Em 17 de abril de 2012, por meio da resolução normativa ANEEL n°482/2012, a micro e mini geração foram regulamentadas, e, desde então, tornou-se possível estabelecer uma nova relação entre concessionárias de energia e consumidores, isso permitiu ao consumidor, que tivesse já implementado algum tipo de geração de energia elétrica, fornecer o excedente de produção à rede de distribuição local. Outro aspecto relevante da microgeração distribuída é a proximidade entre o consumidor que fornece o excedente de produção com aqueles que são apenas consumidores.

Este aspecto é vantajoso quando há diminuição das perdas e, principalmente, há diminuição de investimentos de infraestrutura associados à geração, transmissão e distribuição.

O interesse pela microgeração e minigeração tem se intensificado no Brasil; dados da ANEEL apontam um crescimento significativo de agosto de 2014 a setembro de 2016: “em um ano, o número de conexões de micro e minigeração de energia teve um rápido crescimento. São 5.040 conexões em agosto, contra 1.148 ligações registradas na ANEEL em setembro de 2015, o que representa uma potência instalada de 47.934 kW” (ANEEL, 2016). Este crescimento destaca que as principais fontes exploradas pela microgeração no Brasil são a solar e a eólica, tendo até então 4955 pontos de geração solar e 39 eólica ligados a rede de distribuição (ANEEL, 2016). Entretanto, outros modais poderiam ser igualmente explorados por pequenos e grandes consumidores. Como aponta Silva (2012), existe a possibilidade e a viabilidade de aproveitamento da matriz de abastecimento de água tratada, em seu estudo analisou, na cidade de Pato Branco - Paraná, a cutilização da rede de abastecimento d’água na produção de energia elétrica.

A busca por fontes renováveis é uma realidade e uma necessidade; muitos países investiram na mudança, como destaca a CPFL ENERGIA (2014) nas modificações das matrizes energéticas pelo mundo: a Alemanha em 2008 contava com 4,4 TWh de geração solar; em 2014 chegou ao patamar de 26,4 TWh; O crescimento abrupto até 2014, da oferta de energia, criou uma situação ímpar: preços negativos. Na China, no mesmo período houve crescimento de 0,2 TWh para 6,3 TWh. Tais modificações e seus benefícios inspiram observar os potenciais disponíveis no Brasil, para assim fazer uso correlato e trazer benefícios a curto, médio e longo prazo.

## 2 | EMBASAMENTO TEÓRICO E METODOLOGIA

Nikola Tesla (1856-1943) foi responsável por diversas descobertas em vários seguimentos, aclamado como pai da rede distribuição de energia elétrica alternada, criador do motor de indução, entre outros feitos, em 1910 apresentou a dupla patente de turbina e compressor: a turbina de Tesla veio com características pouco convencionais (Batista 2009). Em parceria com a empresa Allis Chalmer Manufacturing Company (USA), Figura 1, desenvolveu 3 protótipos da turbina, a maior turbina continha 60 discos de 1,5 m de diâmetro, rotação de 3600 rpm, alimentada por vapor d’água a 5,5 atm de pressão, fornecendo a potência de 500 kW, (Neckel 2013). A Turbina é composta pelas seguintes partes (Figura 2 e Figura 3): Discos Lisos: cilindros finos com a superfície não porosa (detalhe 13, Figura 2 e Figura 3), material leve e inerte, com furos defasados igualmente próximo ao centro (escape do fluido, Figura 2 – detalhe 14,); No projeto original de Tesla eram barras e chapas no centro do disco (detalhe 15, Figura 2), por causa de problemas mecânicos, os projetos mais recentes alteram para furos no meio do disco (Rocha et al, 2013), com será apresentado na sequência.

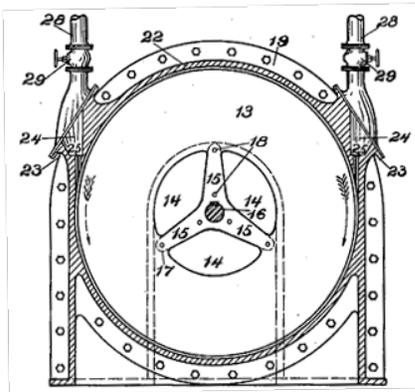
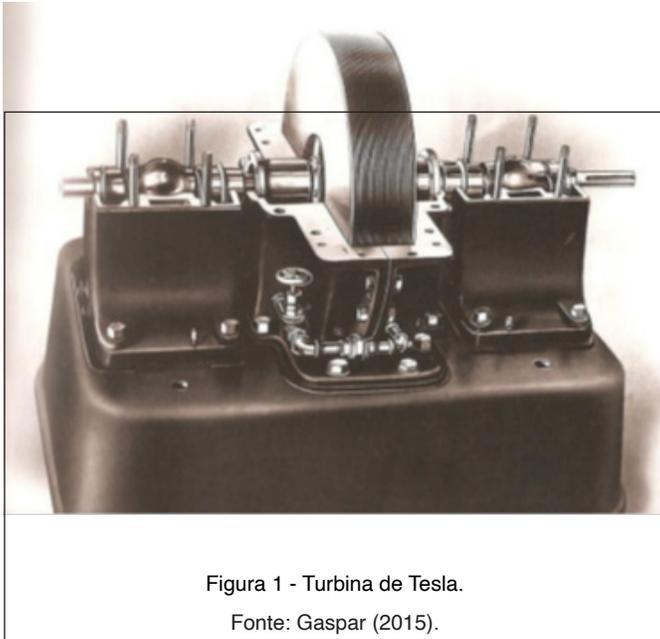


Figura 2 - Turbina de Tesla (corte lateral).

Fonte: Gaspar (2015).

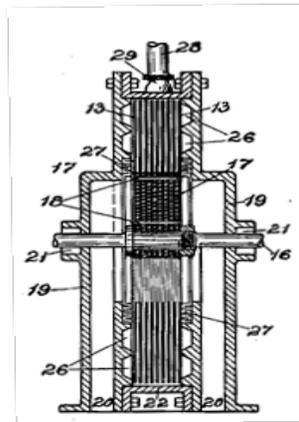


Figura 3- Turbina de Tesla (corte frontal).

Fonte: Gaspar (2015).

Uma das características mais versáteis da Turbina de Tesla (TT) é a possibilidade de utilizar vários tipos de fluidos em diversos estados, pois os componentes devem ser planejados para ser adequar ao fluido operante. Por exemplo os materiais que a compõe devem ser resistentes: a corrosão, pressão, vibração, choques e esforços mecânicos, de preferência, (Rocha at al 2013). Existem muitas variáveis a serem exploradas na TT, como “da geometria dos seus componentes, ao posicionamento das peças, dentre eles” (Neckel 2013):

- Distância entre disco: os discos acoplados paralelamente em relação ao outro; a sua distância interfere diretamente na queda de pressão, na velocidade e torque aplicados no eixo.
- A distância do rotor (disco) e o estator (encapsulamento), distância interfere no que tange a direção e escoamento do fluido, também afeta no desempenho do mesmo.
- Raio dos Discos: o raio externo, região total do disco fornece a área de contato com a vazão do fluido ponto onde realiza trabalho e transfere energia para o rotor.
- Números de bocais Injetores e saídas do fluido: seu formato, ou posição e quantidade; influencia diretamente no comportamento do fluido dentro da TT, se o mesmo atua em comportamento regime laminar ou turbulento.
- Já as saídas e a composição dos furos na proximidade do centro do disco, fica responsável pela extração do fluido do interior da TT pede compatibilidade ao sistema de entrada. Para evitar resistência na saída do fluido do interior da TT.

## 2.1 Princípios de Funcionamento da Turbina de Tesla (TT)

O princípio de funcionamento da TT consiste na capacidade de aderência de um fluido sobre a uma superfície (Couto et al, 2006). Quando um fluido é injetado, sua tendência natural é preencher o local e buscar uma saída; estabelecido o percurso, o fluido se desloca adquirindo velocidade; pelo princípio da aderência, os discos são forçados a se movimentar e adquirir velocidade compatível ao fluido; destacado na Figura 4, neste fenômeno, a energia contida no deslocamento do fluido é transferida à turbina, permitindo a sua conversão, como na geração de energia elétrica. Sua principal diferença entre as demais turbinas é a capacidade de ser acionada com gases, fluidos com mais de uma fase, fluidos com viscosidade elevada, e ainda com partículas sólidas suspensas no fluido.



Figura 4 - Trajetória do fluido na turbina de Tesla.

Fonte: Gaspar (2015).

## 2.2 Estado da Arte

Na forma original proposta por Nikola Tesla, o sentido de rotação da turbina é reversível, uma vez que há dois bicos de injeção em posições opostas. Em projetos recentes, esta característica não é adotada. Nos estudos de Gaspar (2015), Rocha (2013), Neckel (2013) e Couto (2006), por exemplo, dispõe de apenas um duto de admissão, como destacado pela parte 2, Figura 5.



Figura 5 - Protótipo de turbina de Tesla.

Fonte: Placco (2010).

Os discos também tiveram proposta de modificação, gerando novas patentes; o Engenheiro Eletricista Julio Cesar Batista e o Físico Heraldo da Silva Couto, uniram ao disco características análogas a forma das pás da turbina Pelton, tal alteração foi registrada sob o n° de patente MU 8601863-9 U2 de 2008, com a forma explicitada na Figura 6, os autores atribuem maior eficiência na obtenção de torque sobre o eixo ou pressão, quando acionada como bomba.

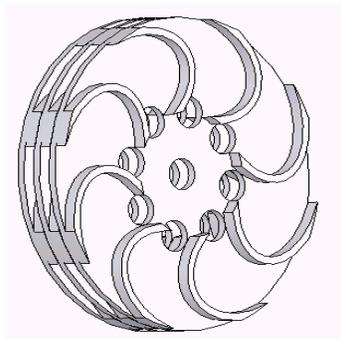


Figura 6 - Turbina Tesla-Pelton (1).

Fonte: Batista (2009).

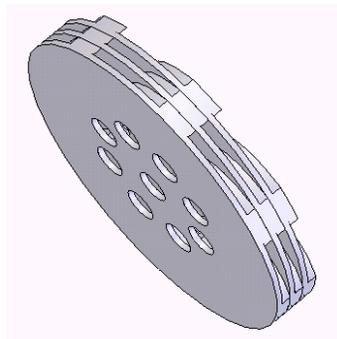


Figura 7 - Turbina Tesla-Pelton (2).

Fonte: Batista (2009).

A disposição dos discos, em função do posicionamento dos orifícios de escoamento do fluido, círculos ou triângulos distribuídos em torno do eixo, também foi ensaiado com modificações em referência a TT original. Placco (at al, 2010) efetuou estudos aplicando defasagem angular entre os discos da TT, como evidenciado nas Figura 24 e Figura 25.



Figura 8 - Discos (Defasagem de  $-30^\circ$ ).

Fonte: Placco (2010).



Figura 9- Discos (Defasagem de  $+30^\circ$ ).

Fonte: Placco (2010).

As aplicações destas defasagens obtiveram resultados significantes; Placco (2010) relata ganhos observados na ordem de 12%, quando da defasagem de +30°; os resultados foram evidenciados pelo Gráfico 1.

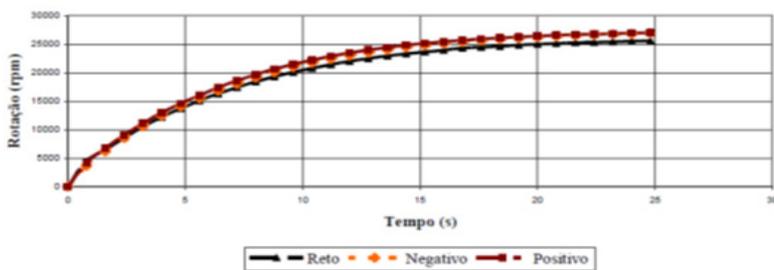


Figura 10 – Gráfico de ganho de rotação para comparação da defasagem dos orifícios.

Fonte: Placco (2010).

Tais estudos são de grande valia para o desenvolvimento da TT. Dos materiais às características construtivas, os avanços podem propiciar uma turbina de baixo custo, com rendimento aceitável para microgeração, impactando na cadeia energética como um todo, por se tornar acessível aos, até então, apenas consumidores de energia elétrica.

### 2.3 Pesquisa de perfil de consumo hídrico

Foram coletados os dados de consumo mensal de dois condomínios da cidade Curitiba, o objetivo do levantamento foi encontrar a vazão média em litros por minuto e utilizar este dado como parâmetro de dimensionamento da TT. O primeiro condomínio é constituído por um prédio de 20 andares. O segundo consumidor é um condomínio constituído por 10 prédios de 5 andares, 8 unidades por andar. Suas médias mensais estão dispostas nas Tabela 2 e Tabela 3 respectivamente:

| Mês    | Consumo (m³) | Mês    | Consumo (m³) | Mês    | Consumo (m³) | Média Consumo |
|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|---------------|
| set/17 | 344          | mar/18 | 370          | set/18 | 485          | 385 m³/mês    |
| out/17 | 387          | abr/18 | 383          | out/18 | 455          | 12,83 m³/dia  |
| nov/17 | 422          | mai/18 | 349          | nov/18 | 457          | 0,53 m³/h     |
| dez/17 | 401          | jun/18 | 367          | dez/18 | 412          | 534,72 l/h    |
| jan/18 | 406          | jul/18 | 330          | jan/19 | 358          | 8,91 l/min    |

Tabela 1- Consumo de água condomínio 1 (setembro de 2017 a abril de 2019).

O Autor (2019).

| Medidor |              | 0176-4060 |              | Hidrômetro |              | 315n003926-5-2 |              |       |        |
|---------|--------------|-----------|--------------|------------|--------------|----------------|--------------|-------|--------|
| Mês     | Consumo (m³) | Mês       | Consumo (m³) | Mês        | Consumo (m³) | Mês            | Consumo (m³) | Média |        |
| mai/17  | 601          | nov/17    | 596          | mai/18     | 704          | nov/18         | 619          | 600,5 | m³/mês |
| jun/17  | 507          | dez/17    | 569          | jun/18     | 629          | dez/18         | 600          | 20,01 | m³/dia |
| jul/17  | 547          | jan/18    | 558          | jul/18     | 628          | jan/19         | 667          | 0,83  | m³/h   |
| ago/17  | 569          | fev/18    | 610          | ago/18     | 619          | fev/18         | 595          | 834,0 | l/h    |
| set/17  | 539          | mar/18    | 603          | set/18     | 591          | mar/18         | 620          | 13,90 | l/min  |
| out/17  | 577          | abr/18    | 665          | out/18     | 629          | abr/18         | 563          |       |        |

Tabela 2 - Consumo mensal médio (cond. 2 / medidor 1).

O Autor (2019).

As médias de m³ consumidos apresentaram diferenças significativas. Como metodologia do ensaio, para a vazão que será aplicada na turbina optou-se por utilizar a média geral dos consumidores pesquisados, onde fora obtido:

| Média Geral de Consumo |        |
|------------------------|--------|
| 555,50                 | m³/mês |
| 12,86                  | l/min  |

Tabela 3 - Médias de consumo.

O Autor (2019).

Desta forma, o valor inicial para ensaio e projeto da turbina será a aplicação de vazão aproximada de 13 litros por minuto. Entretanto, caso seja verificado, durante o ensaio, que a vazão média não desenvolva força de arrasto suficiente para a geração de energia elétrica, conforme a Turbina de Tesla elaborada, buscar-se-á a vazão mínima para geração para a situação.

## 2.4 Caracterização do ensaio

O setup de ensaio é constituído por três caixas d'água de 400 L, duas como reservatório, e uma caixa para coleta da água escoada pela Turbina de Tesla. Conta ainda com uma bomba d'água de recalque entre as caixas, de coleta e de armazenamento, e uma bomba injetando vazão limite de 100 l/min na TT, ou até 50 l/min com 116 mca. A estrutura de ensaio permite a realização de testes sem interrupções; O controle da vazão é feito por um sistema de by-pass instalado na tubulação, validando o fluxo é utilizado um hidrômetro residencial. O procedimento de simulação ocorreu inicialmente com a vazão média encontrada, e em segundo momento foram feitas variações de vazão até limite máximo do setup.

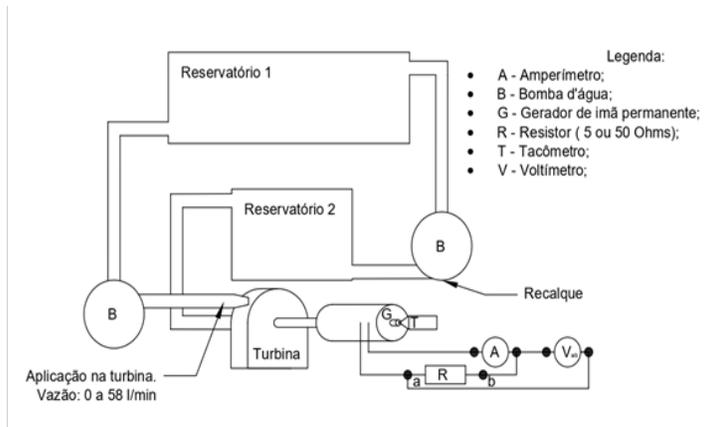


Figura 11 - Diagrama do conjunto de equipamentos.  
Fonte: O Autor (2019).

Para a escolha do modelo de gerador mais adequado à turbina, foram selecionados dois tipos de motores ligados para funcionar como gerador, sendo:

1. Motor monofásico - 127 V tipo universal de 450 W;
2. Servo motor 1 - 24 V<sub>cc</sub> de imã permanente;
3. Servo motor 2 - 24 V<sub>cc</sub> de imã permanente;



Figura 12- Servo Motor Electro-Craft  
PN0650.00-020.

O Fonte: O Autor (2019).



Figura 13 - Servo Motor Maxon Motor Pn.:  
2260.88-54.

Fonte: O Autor (2019).

Foram avaliadas as curvas de potência fornecidas pelos fabricantes, e curvas de teste de geração: aplicando-se as mesmas velocidades de rotação e torque e efetuaram-se as leituras de tensão de saída, para circuito aberto; e corrente máxima, quando curto circuitado os polos.

| Gerador          | Rotação (rpm) | Excitação do rotor |       | Tensão gerada | Corrente de curto |
|------------------|---------------|--------------------|-------|---------------|-------------------|
| Motor Monofásico | 1492          | 8,0 A              | 2,3 V | 5 Vac         | 7,0 A             |
| Servo Motor 1    | 1435          | 0                  | 0     | 46,72 Vdc     | 4,7 A             |
| Servo Motor 2    | 1468          | 0                  | 0     | 42            | 3,2 A             |

Tabela 4 - Comparativo de geração entre máquinas elétricas.

Fonte: O Autor (2019).

Os servos motores mostraram-se mais eficientes, não necessitam excitação e são fabricados com ímãs permanentes. Em geral, os motores forneceram as potências de 35 W, 219 W e 134 W respectivamente. O motor monofásico consumiu 18,4 W, tendo um balanço de apenas 16,6 W. Assim, pela potência optou-se pelo servo motor 1 como gerador.

### 3 I PROJETO DESENVOLVIMENTO E ENSAIO

Inicialmente foi arbitrado um valor para o número de Reynolds mantendo escoamento laminar, posto que: “quando a extremidade do disco atinge a velocidade do fluido injetado tangencialmente, a velocidade relativa entre fluido e disco é nula,” e “não há realização de trabalho ou potência no eixo” (Batista, 2009). Baseado na metodologia de Batista (2009), efetuou-se adaptações para a água em estado líquido, e aproveitou-se a defasagem entre os disco, apresentado por Placco (2010). Alguns parâmetros foram estipulados via comparações, pelos critérios sugeridos por Choon et al (2011).

#### 3.1 Cálculo para medidas dos componentes

Adaptando a metodologia de Choon, et al. (2011) e de Batista (2009) para a utilização de água como fluido de propulsão, os cálculos utilizados foram iniciados com a equação 3.1, o ponto de partida foi utilizar os dados de vazão média de consumo e vazão máxima do setup como parâmetros, sendo 100 l/min a vazão máxima (para o SI: 0,00167 ), e a área do tubo de admissão, com diâmetro de 0,0127 m tem área de 0,0005067 , conforme a equação 3.2:

$$V = \frac{Q_v}{A} \quad (3.1)$$

$$V = \frac{0,00167}{0,0005067} = 3,289 \frac{m}{s} \quad (3.2)$$

$Q_v$  Vazão Volumetrica ().

$V$  Velocidade relativa do escoamento ().

$A$  Área (m<sup>2</sup>).

Batista (2009, pág.98) afirma que não existe equações específicas para a TT, cálculo de sua potência ou torque, assim estipulou-se proporções para os

discos pela a metodologia de Choon et al. (2011), a relação de 3.3. Para o modelo reduzido definiu-se: raio externo em 0,073 m, raio interno 0,018 m (eixo mais furos de exaustão), aplicado em 3.3, resulta em 3.4:

$$\frac{R}{r_0} \geq 2,5 \quad (3.3)$$

$$\frac{0,073}{0,018} \geq 4,056 \quad (3.4)$$

R Raio externo dos discos paralelos (m).

$r_0$  Raio interno fictício (m).

Para determinar o espaçamento dos discos calculou-se a camada de limite laminar, pôr meio da equação 3.5. A água á 20°C tem viscosidade cinemática  $1,003 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$  (Evangelista, 2018):

$$\delta \approx 5 \sqrt{\frac{v \cdot \pi \cdot D}{V}} \quad (3.5)$$

$$\delta = 5 \times \sqrt{\frac{1,003 \times 10^{-6} \times \pi \times 0,146}{3,289}} = 1,867 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (3.6)$$

$\delta$  Espaçamento entre disco e encapsulamento (m).

v Viscosidade cinemática do fluido (/s).

V Velocidade Relativa de Escoamento (m/s).

D Diâmetro do disco (m).

Como o vão está contido entre duas superfícies, o espaço máximo entre disco será o dobro, como a equação 3.7:

$$D_{\delta\text{máx}} = 2.$$

$$\delta = 2 \times 1,867 \times 10^{-3} = 3,74 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (3.7)$$

$D_{\delta\text{máx}}$  Distancia máxima entre discos (m).

Caso o número de Reynolds seja superior a 2300 estará no regime transitório, turbulento acima dos 2400 (Rodrigues, 2019). Neste caso calcula-se para camada limite turbulenta, equação 3.8 e aplicada em 3.9:

$$\delta = 0,526 \cdot r_0 \cdot \sqrt[5]{\left(\frac{v}{r_0^2 \cdot \omega}\right)} \quad (3.8)$$

$$\delta = 0,526 \times 0,018 \times \sqrt[5]{\left(\frac{1,003 \times 10^{-3}}{0,018^2 \times \left(\frac{3,289}{0,073}\right)}\right)} = 5,646 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (3.9)$$

O espaçamento entre disco, é a solução da equação 3.7. Com valor da equação 3.9, chega-se na equação 3.10:

$$D_{\delta\text{máx}} = 2 \cdot \delta = 2 \times 5,646 \times 10^{-3} = 1,129 \times 10^{-2} \text{ m} \quad (3.10)$$

Estas projeções estabelecem limites de contorno, Batista fixou um número Reynolds obtendo o número de discos, utilizando densidade da água a 20°C,  $\rho = 998,2 \text{ kg/}$  e viscosidade dinâmica  $\mu = 1,67 \times 10^{-3} \text{ Pa/s}$  (Evangelista, 2018):

$$\dot{m} = \rho \cdot Q_v = 998,2 \times 0,00167 = 1,663 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (3.11)$$

$\dot{m}$  Vazão massica (kg/s).

$\rho$  Densidade da água (kg/m<sup>3</sup>).

O coeficiente de vazão é calculado por 3.12. O número de Reynolds arbitrado foi 320, e usando 3.11 em 3.12 verificou-se em 3.13, o coeficiente de vazão:

$$n = \frac{4}{3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot D \cdot Re} \dot{m} \quad (3.12)$$

$$n = \frac{4 \times 1,663}{3 \times \pi \times 1,002 \times 10^{-3} \times 0,146 \times 320} = 15 \text{ discos} \quad (3.13)$$

O número de discos mínimo seria, conforme a equação 3.14:

$$N = n + 1 = 16 \quad (3.14)$$

$n$  coeficiente de vazão (adimensional).

$N$  número de discos (adimensional).

Para melhorar o torque final, decidiu-se utilizar 20 discos, calculando com novo número de Reynolds em 3.15:

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}}{3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot D \cdot n} = \frac{4 \times 1,663}{3 \times \pi \times 1,002 \times 10^{-3} \times 0,146 \times 20} = 254 \quad (3.15)$$

A partir de 3,15, o espaço entre disco é obtido conforme a equação 3.16, tendo como resultado 3,17:

$$Re = \frac{4 \rho \cdot V \cdot a}{3 \mu} \quad (3.16)$$

$$a = \frac{3 \cdot \mu \cdot Re}{4 \cdot \rho \cdot V} = \frac{3 \times 1,002 \times 10^{-3} \times 254,028}{4 \times 998,2 \times 3,289} = 5,814 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (3.17)$$

O distanciamento resultante dos cálculos não era praticável, optou-se por estipular um valor entre discos (1,2 mm, espessura da chapa de aço que seria utilizada na produção dos discos) e verificar se era adequado pela equação 3.18:

$$Re = \frac{4 \rho \cdot V \cdot a}{3 \mu} = \frac{4 \times 998,2 \times 1,2 \times 10^{-3}}{3 \times 1,002 \times 10^{-3}} = 1593,93 \quad (3.18)$$

O valor encontrado atende à necessidade, não é superior a 2000, o escoamento é laminar. Para os novos parâmetros, o cálculo de Torque em escoamento laminar, em uma das faces do disco, é obtido por 3.19 e encontrado em 3.20:

$$T_0 = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot R^5 \cdot 3,87 \cdot \left( \frac{R^2 \cdot \omega}{\nu} \right)^{-\frac{1}{2}} N.m \quad (3.19)$$

$$T_0 = \frac{1 \times 998,2 \times 45,058^2 \times 0,146^5 \times 3,87}{4} \left( \frac{0,146^2 \times 45,058}{1,003 \times 10^{-6}} \right)^{-\frac{1}{2}} = 0,334 N.m \quad (3.20)$$

$T_0$  Torque fornecido (N.m).

R Raio dos discos paralelos (m).

$\omega$  Velocidade Angular (rad/s).

$\nu$  viscosidade cinemática do fluido (m/s).

Torque total, para os 20 discos, fornecido na camada limite laminar, assim como na equação 3.21:

$$T_T = 2 \cdot (N - 1) \cdot T_0 = 2 \times (20 - 1) \times 0,334 = 12,687 N.m \quad (3.21)$$

$T_T$  Torque total (N.m).

N número de discos (adimensional).

Potência Ativa fornecida na camada de limite laminar, conforme a equação 3.22:

$$P = T_T \cdot \omega = 12,687 \times 45,058 = 571,666 W \quad (3.22)$$

Caso o regime de escoamento fosse turbulento o Torque resultante seria, para uma das faces do disco, conforme a equação 3.23 e sendo equacionado na 3.24:

$$T_0 = \frac{0,073}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot R^5 \cdot \sqrt[5]{\frac{\nu}{\omega \cdot R^2}} \quad (3.23)$$

$$T_0 = \frac{0,073}{2} \times 998,2 \cdot 45,058^2 \cdot 0,146^5 \times \sqrt[5]{\frac{1,003 \times 10^{-6}}{45,058 \times 0,146^2}} = 0,312 N.m \quad (3.24)$$

O torque total e potência na camada turbulenta, é encontrado utilizando das equações 3.25 e 3.26, respectivamente:

$$T_T = 2 \cdot (N - 1) \cdot T_0 = 2 \times (20 - 1) \times 0,312 = 11,856 N.m \quad (3.25)$$

$$P = T_T \cdot \omega = 11,856 \times 45,058 = 534,208 W \quad (3.26)$$

Os valores encontrados para potência são projeções, adaptados de metodologias para gases em elevadas temperaturas e pressões, desta forma, entende-se que poderá ocorrer variações significativas utilizando água em temperatura ambiente.

### 3.2 Desenho das peças

Após os cálculos dos parâmetros para a turbina, executou-se a modelagem das partes da Turbina de Tesla com o auxílio de software CAD (computer-aided design). Com o uso desta ferramenta pode-se utilizar de processos mais precisos na produção dos componentes. Na Figura 14 apresenta-se o projeto da Turbina de Tesla em vista explodida:

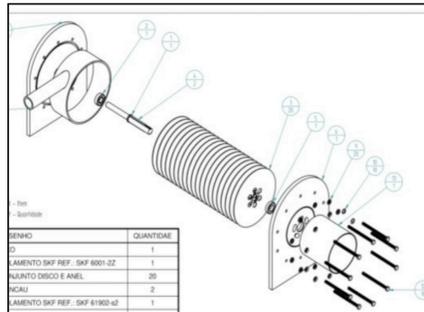


Figura 14 - Vista explodida da Turbina de Tesla.  
O Autor (2019).

#### 3.2.1 Montagem da Turbina de Tesla

Objetivando maior velocidade de entrada, o bico de injeção foi modificado; Foi utilizado tubo de PVC, como pode ser visto na Figura 15; o bico injetor ficou em retangular, com 3 mm de altura por 50 mm de largura (15 mm<sup>2</sup>), foi ajustado para que a água atinja os discos numa linha secante, aproximadamente 72 mm acima do eixo, destacado pelo item 1 da Figura 15; buscando aperfeiçoar o protótipo, seguindo os resultados de Placco (2010), aplicou-se a defasagem de -30° nos discos, destacado nas Figura 16 e Figura 17:

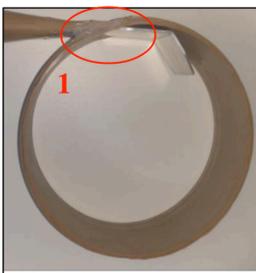


Figura 15.  
Detalhe bico de injeção  
O Autor (2019).

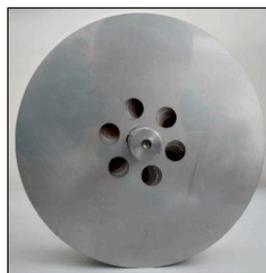


Figura 16.  
Defasagem de -30°  
O autor (2019).



Figura 17.  
Disco, vista lateral.  
O autor (2019).

A turbina finalizada é apresentada nas Figura 16 e Figura 17. Algumas falhas que podem comprometer a eficiência da Turbina de Tesla foram encontradas: distanciamento dos discos, não foi possível manter a distância de 1,2 mm entre eles; elevada massa dos discos e eixo, 4,85 kg. O setup composto pela Turbina de Tesla acoplado ao gerador é apresentado nas Figura 18 e Figura 19. A turbina finalizada conta ainda com: um duto para direcionar a água que sai de dentro dela; um conjunto de registro com união, na entrada do bico de injeção; junção entre eixos, adaptada com tubo plástico termoencolhível; base em acrílico. Verificou-se uma leve tortuosidade entre eixo e discos, sem solução, ocasionou excessiva vibração acima de 100 rpm.

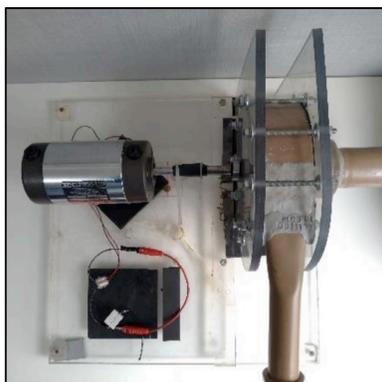


Figura 18 - Setup de teste (vista superior). Figura 19 - Setup de teste (vista frontal).

O autor (2019).

O autor (2019)

## 4 | DISCUSSÃO E RESULTADOS

Foram realizados dois ensaios: o primeiro com carga de  $50 \Omega$  ligada ao gerador, o segundo com carga de  $5 \Omega$ . A expectativa era observar redução na máxima tensão gerada, em função da força contra eletromotriz do gerador, sendo evidenciada na tensão máxima produzida, e limitação de rotação imposta à turbina pelo gerador.

### 4.1 Ensaio 1 - carga de 50 Ohms

Sob esta condição foram realizadas medições de vazão, rotação, tensão e corrente, conforme apresentado na Tabela 5, e nos gráficos a seguir:

| Velocidade (RPM) | Tensão (V) | Corrente (mA) | Vazão (l/min) | Potência dissipada na carga |
|------------------|------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| 72,0             | 1,9        | 20,0          | 14,2          | 0,0                         |
| 356,0            | 9,8        | 180,0         | 26,3          | 1,8                         |
| 480,0            | 13,3       | 240,0         | 30,6          | 3,2                         |
| 561,0            | 15,6       | 300,0         | 34,7          | 4,7                         |
| 823,0            | 22,5       | 430,0         | 43,6          | 9,7                         |
| 884,0            | 24,2       | 460,0         | 46,4          | 11,1                        |
| 928,0            | 25,5       | 490,0         | 46,9          | 12,5                        |
| 1065,0           | 27,5       | 530,0         | 50,9          | 14,6                        |
| 1160,0           | 29,3       | 570,0         | 54,0          | 16,7                        |
| 1175,0           | 32,0       | 600,0         | 52,7          | 19,2                        |
| 1180,0           | 32,2       | 630,0         | 56,8          | 20,3                        |

Tabela 5 - Dados de ensaio: carga 50  $\Omega$ .

O autor (2019).

Os valores de rotação encontrados pela da vazão apresentaram bom rendimento, chegando a 1180 rpm com vazão de 56 l/min, entretanto indicam restrição da vazão e ocasionam menor torque e potência gerada, visto no Gráfico 1:

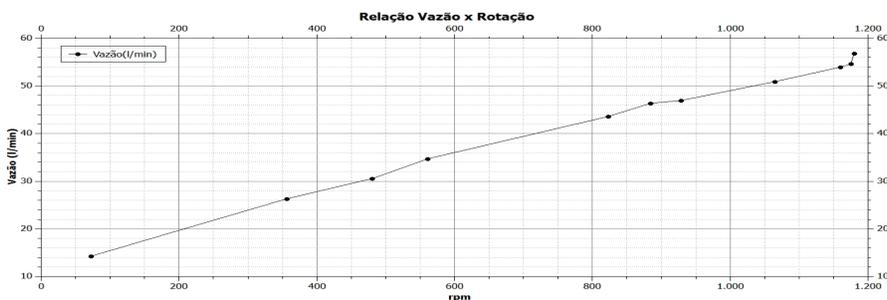


Gráfico 1 - Relação Vazão (l/min) x Rotação (rpm) – carga 50  $\Omega$ .

O autor (2019).

Os valores máximos de tensão encontrados chegaram a bons níveis, próximos de 33 V, adequados para ligação em inversores de frequência amplamente utilizados em sistemas fotovoltaicos de microgeração distribuída. No a curva de corrente medida sobre a carga de 50 Ohms, em função da rotação.

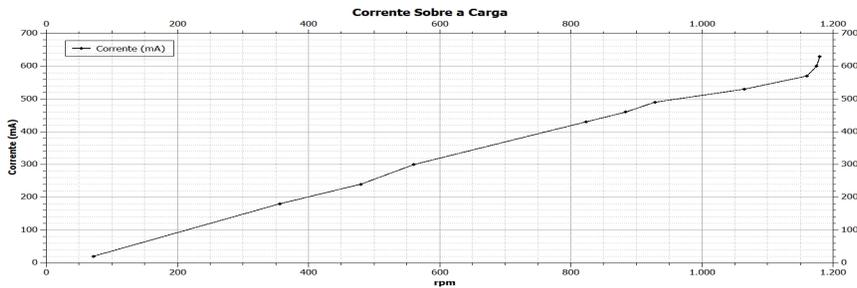


Gráfico 2 - Relação Corrente (mA) x Rotação (rpm) – carga 50 Ω.

O autor (2019).

Conforme visto a seguir, a menor capacidade de escoamento da turbina influenciou a tensão máxima sobre a carga.

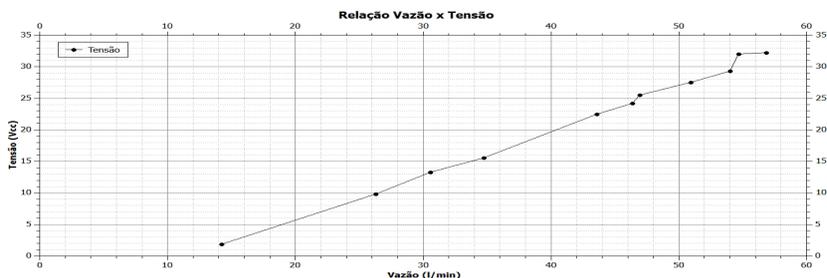


Gráfico 3 - Relação Tensão (V) x Vazão (l/min) – carga 50 Ω.

O autor (2019).

O ensaio sobre uma carga de 50 Ω gerou um bom nível de tensão, aproximadamente 32,2 Vcc. Observou-se que a limitação de vazão não permitiu maior produção energética, assim, com maior fluxo de água injetada na turbina, maior será a capacidade de produção energética. O cálculo do rendimento na potência gerada 50, na faixa de vazão 56.8 l/min, com a potência recalculada, assim como na equação 5.27:

$$\eta = \frac{P_{G50\Omega}}{P} = \frac{20,3}{179,27} = 0,1132 = 11,32\% \quad (4.27)$$

$\eta$  Rendimento (adimensional)

$P_{G50\Omega}$  Potência gerada com resistor 50;

$P$  Potência Ativa (W)

## 4.2 Ensaio 2 - carga 5 Ohms

Este ensaio foi realizado para verificar o comportamento do grupo Turbina de Tesla -Gerador sob aspecto do conceito de máxima transferência de potência. Foi medido 5,2 Ohms na bobina do motor, e por consequência acoplada como carga um par de resistores em paralelo, com resistência equivalente de 5 Ohms. Os valores de rotação, tensão e corrente sobre a carga encontrados são apresentados na Tabela 6:

| Velocidade (rpm) | Tensão (V) | Corrente (A) | Potência dissipada na carga (W) | Velocidade (rpm) | Tensão (V) | Corrente (A) | Potência dissipada na carga (W) |
|------------------|------------|--------------|---------------------------------|------------------|------------|--------------|---------------------------------|
| 0,00             | 0,00       | 0,00         | 0,00                            | 384,90           | 6,58       | 1,31         | 8,64                            |
| 46,90            | 0,71       | 0,14         | 0,10                            | 385,90           | 6,00       | 1,22         | 7,29                            |
| 88,00            | 1,55       | 0,31         | 0,49                            | 413,80           | 6,26       | 1,25         | 7,83                            |
| 225,20           | 3,42       | 0,68         | 2,32                            | 439,40           | 6,62       | 1,32         | 8,75                            |
| 234,20           | 3,39       | 0,68         | 2,29                            | 451,70           | 6,93       | 1,39         | 9,61                            |
| 235,20           | 3,43       | 0,68         | 2,34                            | 462,00           | 7,38       | 1,48         | 10,89                           |
| 289,50           | 4,46       | 0,89         | 3,96                            | 470,40           | 7,39       | 1,48         | 10,92                           |
| 301,40           | 4,53       | 0,91         | 4,11                            | 495,60           | 7,75       | 1,60         | 12,38                           |
| 348,10           | 5,29       | 1,05         | 5,58                            | 522,40           | 7,98       | 1,60         | 12,76                           |
| 360,20           | 5,44       | 1,00         | 5,46                            | 542,00           | 8,34       | 1,69         | 14,07                           |

Tabela 6 - Dados de ensaio: carga 5  $\Omega$ .

O autor (2019).

A potência gerada não apresentou grande magnitude, entretanto já era esperado após a verificação do nível de torque medido pela turbina. Entendeu-se que o torque do motor não era adequado, a configuração da turbina pedia um motor de menor torque, como apresentado no Gráfico 4:

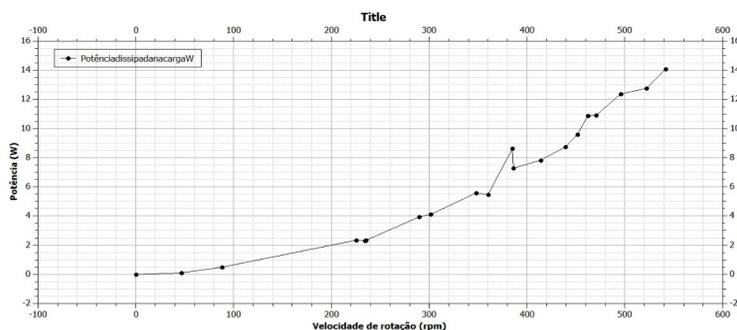


Gráfico 4 - Curva de potência - carga 5  $\Omega$ .

O autor (2019).

Mesmo não sendo o conjunto o ideal, a magnitude da corrente na vazão máxima foi 1,7 A, e a relação tensão pela rotação apresentava potencial de crescimento, a curva não mostrava saturação do gerado, como visto no Gráfico 5.

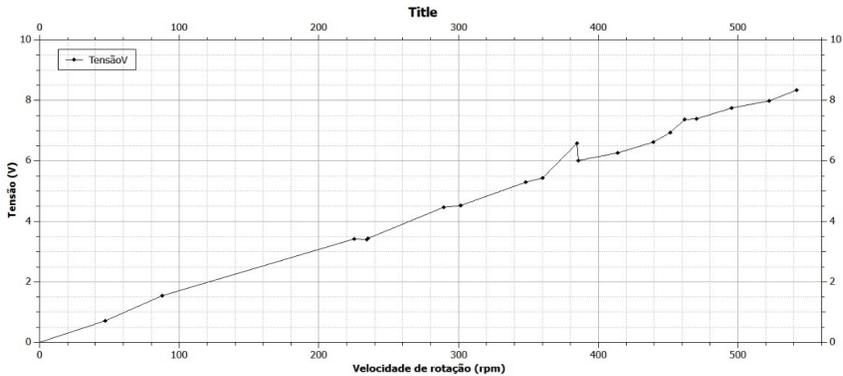


Gráfico 6 - Relação Tensão (V) x Rotação (rpm) - carga 5 Ω.

O autor (2019).

Os dados foram limitados pela vazão, 56 l/min, quando a possibilidade do setup era 100 l/min. A turbina não pôde ser levada à sua maior capacidade. O grupo turbina-gerador apresentou potência gerada de 14 W. Com as devidas adequações, no setup e na turbina, é esperada maior potência gerada, conforme calculado pela equação 3.22. Desta forma, o rendimento com carga de 5 Ω, na vazão de 56 l/min, conforme equação 4.28:

$$\eta = \frac{P_{G5\Omega}}{P} = \frac{14}{179,27} = 0,0781 = 7,81\% \quad (4.28)$$

$\eta$  Rendimento (adimensional)

$P_{G5\Omega}$  Potência gerada com resistor 5Ω (W);

P Potência Ativa (W)

A execução do ensaio a vazio resultou em bom nível de tensão, na máxima vazão atingida pelo setup, o patamar alcançado de 45 Vcc é adequado para ligação em inversores já utilizados com sistema fotovoltaico. Uma vez que painéis em circuito aberto atingem tensões de 46,7 V (Sino Sola, modelo SA330-72P), e 38,4 V quando acoplado ao inversor. No ensaio com carga de 50 Ω foi atingido 32,2 Vcc, e corrente de 630 mA, resultando numa potência calculada de 20,3 W. Foi verificada a redução na velocidade de rotação, reflexo da força contra eletromotriz gerada pela corrente fornecida pelo gerador. Por sua vez, na aplicação do conceito de máxima transferência de potência, utilizando carga de 5 Ω, a força contra eletromotriz gerada foi maior, diminuindo a potência gerada. Os valores alcançados foram 8,34 Vcc e 1,68 A (14 W, potência calculada). Em função da alta carga inercial, somadas às perdas mecânicas e a limitação inesperada do setup, o rendimento resultou num

valor muito inferior ao esperado, em torno dos 11% para teste com carga de 50  $\Omega$ , e 7,8% com carga de 5  $\Omega$ . Os rendimentos calculados em função dos dados coletados (apresentados nas equações 27 e equação 28) indicam que a turbina estava sendo subexcitada. Maiores níveis de vazão aplicados na turbina, os mesmo para qual foi projetada, deverão expressar melhor rendimento final colaborando na viabilidade de sua aplicação como microgerador. Os dados indicam que: o uso de um grande intervalo de vazão para projetar a turbina resulta num sacrifício na qualidade da conversão energética. Entende-se que mais correto seria limitar o espectro de atuação da turbina, para uma faixa mais restrita, por exemplo, de 15 a 20 l/min (a turbina deste trabalho foi projetada para atuar de 13 l/min à 100 l/min).

## 5 | CONCLUSÃO

O torque gerado pela turbina foi de intensidade significativa, sendo prejudicado pela massa total dos discos sobre o eixo, bem como a restrição de vazão verificada nas medições, e excessiva vibração e desbalanceamento no eixo. O motor acoplado não era o mais indicado para a capacidade da turbina, mitigando a potência final produzida pelo grupo gerador. Detalhes de projeto como bico de injeção, área da seção de exaustão, regularidade dos discos, aplicação de outros materiais, como outras ligas metálicas mais leves, para eixo e discos, bem como rolamentos de melhor desempenho poderão melhorar a capacidade de geração, em diferentes níveis de vazão, contornando as limitações apontadas.

A capacidade de aproveitamento por meio deste tipo de turbina para a aplicação estuda apresenta-se viável, ainda que haja muitos pontos de melhoria nos aspectos construtivos e de eficiência para o conjunto Turbina de Tesla -Gerador. As formas de aplicação são inúmeras, e o crescente uso de inversores utilizados com painéis solares eleva o número de locais aplicáveis, uma vez que se apresenta como mais uma fonte de energia elétrica para um sistema de microgeração já em funcionamento. Grandes indústrias e condomínios com elevado consumo de água, e outros consumidores com tal perfil, poderiam se utilizar de mais esse modal para a elevação de produção energética em suas centrais de microgeração.

## AGRADECIMENTOS

Aos Prof. Dr. Eloi Rufato Junior, pelo acolhimento da proposta e orientação, bem como pelos conhecimentos transferidos na elaboração de todo o trabalho.

Ao corpo de profissionais do LabCE (Laboratório de Compatibilidade Elétrica), Engenheiro, Técnico e estagiários pelo auxílio quando da montagem do modelo e execução dos ensaios, permitindo o importante estudo da parte prática.

Aos colegas e amigos Engenheiros César Ricardo Hubsch, Erison Carlos Oliveira, Matheus Brati Rossetto, ao técnico mecânico Albari Soares, pelo companheirismo e auxílio técnico prestados durante a prototipagem e montagem do modelo reduzido da Turbina de Tesla.

## REFERÊNCIAS

ANEEL, 2012. **Resolução Normativa nº482 de abril de 2012:** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2017.

ANEEL, 2015. **Agência Nacional de Energia Elétrica:** tabela montante e despesas de perdas. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801&idPerfil=4>>. Acesso em: 11 de maio de 2017.

ANEEL, 2016. **Brasil Ultrapassa 5 mil conexões de micro e minigeração:** Disponível em: <<http://rgrenergia.com.br/detalhesnoticia.php?id=172>>. Acesso em: 11 de maio de 2017.

BATISTA, J.C., **MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (ABAIXO DE 100 kW) UTILIZANDO TURBINA TESLA MODIFICADA.** Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia. Universidade Estadual Paulista (UNESP) Campus Guaratinguetá, 2009.

CEPA, Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada. **Turbina Pelton,** 1999. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Hidraulica/turbina3.htm>>. Acesso em: 15 de setembro, 2017.

CHOON, T. W.; RAHMAN, A. A.; JER, F. S. **Optimization of Tesla Turbine Using Computational Fluid Dynamics Approach.** IEEE 2011 Symposium on Industrial Electronics and Application (ISIEA 2011), Langkawi, Malasia.

EVANGELISTA, A. W. P. **1.1.2 Propriedades Fundamentais dos Fluidos.** Material disciplinar. Universidade de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Setor de Engenharia Rural. Disponível em: <[https://www.agro.ufg.br/up/68/o/1.1.2\\_\\_Propriedades\\_dos\\_fluidos.pdf](https://www.agro.ufg.br/up/68/o/1.1.2__Propriedades_dos_fluidos.pdf)>. Acesso em: 28 de setembro de 2018.

NECKEL, A.L., **INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA SOBRE O RENDIMENTO DE BOCAIS INJETORES DE TURBINAS TESLA NO ESCOAMENTO COMPRESSIVEL SUPERSÔNICO.** Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos. Universidade de Caxias do Sul, 2013.

PLACCO, G.M.; GUIMARÃES, L.N.F.; **CAMILLO, G.P. PARÂMETROS DE FUNCIONAMENTO DE UMA TURBINA DE TESLA.** VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. Campina Grande – Paraíba, agosto de 2010.

ROCHA, G.V.B. da; GUIMARÃES, L.N.F.; PLACCO, G. G., **OTIMIZAÇÃO DE MATERIAIS PARA AS PARTES QUE COMPÕE UMA TURBINA TIPO TESLA.** International Nuclear Atlantic Conference (INAC). Salvador - Bahia, 2013.

RODRIGUES, L. E.M.J.; **Aula 10 – escoamento laminar e turbulento.** Material didático. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, São Paulo. Disponível em: <<http://www.engbrasil.eng.br/pp/mf/aula10.pdf>>. Acesso em: 27 de maio de 2019.

SILVA, B. L. A. **Levantamento do potencial energético e estudo da viabilidade econômica da geração hidroelétrica utilizando a rede pública de distribuição de água- estudo de caso: sistema de abastecimento de Pato Branco.** Dissertação de defesa do título parcial de mestre de engenharia elétrica UTFPR de pato branco, 2012

UNITED STATES PATENT' N°.1061206, 1913. **N. Tesla Turbine.** Lens Org - The Lens is a joint initiative of Cambia and Queensland University of Technology Disponível em: <[https://www.lens.org/lens/patent/US\\_1061206\\_A](https://www.lens.org/lens/patent/US_1061206_A)>. Acesso em: 10 de maio, de 2017.

VIEIRA, A. L. **Motores elétricas e princípios de funcionamento.** Engenheiro agrícola Universidade Estadual Maringá, 2013.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alumínio 29, 31, 32, 34, 35, 215, 216, 225  
Arco 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 28  
Arduino 103, 104, 107, 108, 109, 110, 111, 112

### C

Coleta Seletiva 79, 80, 81, 83, 86, 87, 88  
Conhecimento Organizacional 48, 50, 52

### D

Desempenho Térmico 89

### E

Educação Ambiental 79, 80, 83, 86, 87, 88  
Eletrônica 103, 112, 192, 314, 339  
EMG 103, 104, 106, 107, 108, 111, 112, 113  
Energia 16, 17, 18, 126, 141, 142, 149, 151, 172, 260, 262, 265, 270, 271, 272, 274, 276  
Energia Cinética 16, 17, 18

### F

Fator 61, 67, 68  
Fator de Recuperação 61, 63, 65, 67, 68

### G

Gestão do Conhecimento 36, 48, 49, 50, 51, 59, 60  
Gestão do Conhecimento em IFES 48

### I

Injeção de Polímeros 61, 62, 67  
ISO/IEC 29110 36, 37, 40, 41

### M

Mão Mecânica 103, 107, 110  
MPS.Br 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 46, 47

### N

Nióbio 29, 30, 31, 32, 34, 35

### P

Planejamento Desenvolvimento Institucional 48  
Planejamento Estratégico 48, 49, 51, 59, 60, 267  
Potencial 16, 17, 18, 37, 104, 111, 112, 135, 136, 151, 170, 172, 173, 174, 181, 227, 262, 263, 269, 284, 330, 332, 333, 336, 337, 338

Propriedades Mecânicas 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 188, 193, 215, 216, 217, 224, 296, 300

Prótese 103, 104, 107, 108, 110, 111, 112, 113

## **R**

Reciclagem 80, 84, 87, 88, 298, 315

Refino de Grão 29

Resíduos Sólidos 79, 80, 81, 88, 298, 313, 314

Resistência Térmica Equivalente 89

## **S**

Simulação Numérica 61

Solidificação Unidirecional 29, 32, 33, 214, 218

Sustentabilidade 80, 181, 260, 298, 316

## **T**

Telhados Verdes 89

Tiro 16, 17, 22, 24, 26, 27, 28

## **V**

Variáveis Térmicas 29, 32, 33, 35, 214, 215, 217, 224, 225

# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](#) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020

# ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 