

Fabício Moraes de Almeida  
(Organizador)

# ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

conceitos fundamentais e aplicações práticas

 **Atena**  
Editora  
Ano 2024

Fabício Moraes de Almeida  
(Organizador)

# ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

conceitos fundamentais e aplicações práticas

**Atena**  
Editora  
Ano 2024

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



# Engenharia elétrica e de computação: conceitos fundamentais e aplicações práticas

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Fabrício Moraes de Almeida

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	<p>Engenharia elétrica e de computação: conceitos fundamentais e aplicações práticas / Organizador Fabrício Moraes de Almeida. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF  Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  Modo de acesso: World Wide Web  Inclui bibliografia  ISBN 978-65-258-2114-6  DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.146241101">https://doi.org/10.22533/at.ed.146241101</a></p> <p>1. Engenharia elétrica. 2. Engenharia de computação. I. Almeida, Fabrício Moraes de (Organizador). II. Título.  CDD 621.3</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

**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)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.






A engenharia elétrica e de computação é uma área de engenharia que abrange a pesquisa e o desenvolvimento, o projeto, a construção e a operação de sistemas elétricos e de computação. E também pode incluir a eletrônica, os circuitos, os sistemas de controle, a computação embarcada e processamento de sinais.

Ademais, a engenharia elétrica e de computação, é usada em amplo espectro de aplicações práticas, por exemplo: GTDU – Geração, Transmissão, Distribuição e Utilização de energia; Sistemas de Controle; Sistemas de Computação, Sistemas de Telecomunicações; Eletrônica de Consumo; Engenharia Biomédica, Mecatrônica etc.

Além disso, a engenharia elétrica e de computação é primordial para acelerar o desenvolvimento de inovações tecnológicas para otimizar o desenvolvimento industrial, os negócios, a saúde, a educação, a segurança, a mobilidade, a logística e outras demandas emergentes para maximizar a qualidade de vida da sociedade no século XXI.

Portanto, a **Engenharia elétrica e de computação: conceitos fundamentais e aplicações práticas** deve impulsionar os avanços das ciências, das engenharias e da inovação. Diante disso, o livro apresenta os conceitos teórico-práticos nos resultados obtidos pelos diversos autores e coautores no desenvolvimento de cada capítulo com conhecimento técnico-científico minucioso. De forma geral, a Atena Editora oferece uma divulgação científica com qualidade e excelência, fundamental para garantir o destaque entre as melhores editoras do Brasil.

Fabício Moraes de Almeida

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
RELÉ PARA CONSISTENTE MULTIFUNCIONAL TESTADO EM AMBIENTE HARDWARE-IN-THE-LOOP (HIL)	
Viviane Barrozo da Silva	
Antonio Carlos Duarte Ricciotti	
Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira	
Fabrício Moraes de Almeida	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1462411011">https://doi.org/10.22533/at.ed.1462411011</a>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>15</b>
ACESSO REMOTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO DE DADOS VIA PYTHON	
William Aparecido Celestino Lopes	
Adilson Cunha Rusteiko	
Nicolas Vinicius Cruz Honório	
Cleiton Rodrigues Mendes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1462411012">https://doi.org/10.22533/at.ed.1462411012</a>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>26</b>
MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA: CONTEXTUALIZAÇÃO DAS FONTES DE ENERGIA E CARACTERIZAÇÃO DAS USINAS HIDRELÉTRICAS	
Renato Grethe Negri	
Marcelo Bruno Capeletti	
Leonardo Nogueira Fontoura da Silva	
Alzenira da Rosa Abaide	
Bruno Knevitz Hammerschmitt	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1462411013">https://doi.org/10.22533/at.ed.1462411013</a>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>39</b>
VEÍCULOS ELÉTRICOS EM REDES DE BAIXA TENSÃO – IMPACTOS NA QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA	
Ferreira A.G.L	
Aguar V.P.B.	
Correia. W. B.	
Pontes R.S.T.	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1462411014">https://doi.org/10.22533/at.ed.1462411014</a>	
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>57</b>
DESAFIOS DA PRODUÇÃO DE ANIMAÇÃO NO BRASIL: CONSIDERAÇÕES COM BASE NOS RELATOS DE EXPERIÊNCIAS DE PROFISSIONAIS	
Flávia Resende Lacerda	
Elisangela Lobo Schirigatti	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1462411015">https://doi.org/10.22533/at.ed.1462411015</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>64</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>65</b>



## RELÉ PARACONSISTENTE MULTIFUNCIONAL TESTADO EM AMBIENTE HARDWARE-IN-THE- LOOP (HIL)

---

*Data de aceite: 02/01/2024*

### **Viviane Barrozo da Silva**

Professora do Departamento de  
Engenharia Elétrica - Fundação  
Universidade Federal de Rondônia.  
Porto Velho – RO  
<http://lattes.cnpq.br/9428968456380501>

### **Antonio Carlos Duarte Ricciotti**

Professor do Departamento de  
Engenharia Elétrica - Fundação  
Universidade Federal de Rondônia.  
Porto Velho – RO  
<http://lattes.cnpq.br/9613876404612535>

### **Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira**

Professor do Departamento de  
Engenharia Elétrica - Fundação  
Universidade Federal de Rondônia.  
Porto Velho – RO  
<http://lattes.cnpq.br/2255311473963948>

### **Fabício Moraes de Almeida**

Professor do Departamento de  
Engenharia Elétrica - Fundação  
Universidade Federal de Rondônia.  
Porto Velho – RO  
<http://lattes.cnpq.br/5959143194142131>

**RESUMO:** Este capítulo de livro apresenta o relé inteligente (RI) de proteção com múltiplas funções para sistemas baseados

em inversores que utiliza uma rede neural paraconsistente. Essa rede trabalha com graus de evidência favorável, desfavorável, sensibilidade e tempo. O RI Inclui as funções de detecção de ilhamento, detecção de falta, reconhecimento do tipo de falta e bloqueio seletivo de falta. E o RI LPA4v multifunção proposto foi testado em ambiente hardware-in-the-loop (HIL). Portanto, os resultados mostram que o RI proposto é superior aos métodos tradicionais de reconhecimento de ilhamento em relação à confiabilidade, segurança e tempo de detecção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Relé inteligente, Geração distribuída, Ilhamento, Rede neural paraconsistente, hardware-in-the-loop (HIL).

**ABSTRACT:** This article presents the protection relay (IR) with several functions for systems based on inverters that use a paraconsistent neural network. This network works with favorable, unfavorable degrees of evidence, sensitivity and time. The IR includes the functions of islanding detection, fault detection, fault type recognition and selective fault blocking. The proposed multifunctional APL4v IR was tested in a hardware-in-the-loop (HIL) environment. The results show that the proposed IR is

superior to traditional island recognition methods in terms of reliability, security and detection time.

**KEYWORDS:** Intelligent relay, Distributed generation, Islanding, Paraconsistent neural network, Protection. hardware-in-the-loop (HIL).

## 1 | INTRODUÇÃO

O Setor Energético Brasileiro está sob intensa transformação, a oferta descentralizada e ambientalmente sustentável tem impulsionado a utilização de gerações de pequeno e médio porte (microgeração e minigeração) conectadas aos sistemas de distribuição chamadas de Gerações Distribuídas baseados em inversores (GDs). O uso das GDs é benéfico para as concessionárias de energia, proprietários de GDs e consumidores finais, pois melhora a confiabilidade, a qualidade da energia e é economicamente vantajoso. Entretanto, várias condições técnicas precisam ser analisadas em relação à inserção de GDs, de forma a identificar os impactos causados na rede elétrica. Uma dessas condições é o ilhamento que pode ser classificado em ilhamento intencional, quando a fonte de geração é desconectada da rede e o ilhamento não intencional, quando problemas de curto-circuito e falhas nos dispositivos são detectados na rede de distribuição.

O ilhamento não intencional deve ser detectado pelo sistema de proteção da GD, pois pode causar a deterioração da qualidade de energia, risco de vida para as equipes de manutenção, bem como problemas na proteção do sistema de distribuição ilhado. Por outro lado, a detecção indevida pode ter como consequência a instabilidade do sistema interligado em casos de forte dependência de GDs, diminuição da qualidade da energia, atenuação da qualidade do fornecimento, bem como a redução da confiabilidade do sistema de distribuição, além do incremento dos custos operacionais.

Para identificar o evento de ilhamento várias técnicas foram propostas na literatura para garantir que os sistemas operem sob os requisitos de segurança e qualidade.

As técnicas de proteção anti-ilhamento podem ser classificadas em função das suas características operativas, e podem ser classificadas em técnicas remotas e locais.

As técnicas remotas são mais confiáveis e eficientes na detecção de ilhamento do que as técnicas locais. Porém, as técnicas remotas são pouco utilizadas devido ao alto custo operacional e a necessidade de uma rede de comunicação sem falhas, e tem por princípio funcional a comunicação entre a concessionária, os dispositivos de proteção, os dispositivos de manobra da rede de distribuição e a GD [5].

As técnicas locais são divididas em três classes: passivas, ativas e híbridas [1],[2]. Dentre as técnicas ativas típicas, as que mais se destacam são: Active Frequency Drift (AFD), Sandia Frequency Shift (SFS), Slip Mode Frequency Shift (SMS) e método de medição de impedância. Essas técnicas introduzem no sistema de distribuição uma instabilidade que é normalizada pela conexão com o sistema principal, ou provocam uma

perturbação que é absorvida pelo sistema interligado. A ocorrência do ilhamento, surge a partir da perda de conexão com o sistema interligado e os parâmetros das gerações distribuídas como tensão, frequência, impedância sofrem uma variação que é utilizada para a detecção do ilhamento. Essas técnicas apresentam deterioração da qualidade da energia elétrica e estão associadas aos geradores que utilizam inversores para a conexão com a rede elétrica, levando à falha de detecção de ilhamento [6].

As técnicas passivas têm como princípio a detecção de uma anomalia na amplitude, frequência e fase da tensão no ponto de acoplamento comum (PCC) entre o inversor e a rede de distribuição. Sendo assim, essas cessam a conversão de energia da GD quando ocorrem mudanças a partir das condições normais especificadas. As técnicas passivas têm um desempenho notável quando existe uma perceptível incompatibilidade entre a carga e a geração do sistema ilhado. No entanto, se essa incompatibilidade for pequena, a superioridade das técnicas passivas é reduzida [5].

E as técnicas híbridas reúnem baixas zonas de não detecção (ZND) dos métodos ativos e a não interferência na qualidade da energia elétrica dos métodos passivos. Geralmente, os métodos híbridos utilizam uma técnica passiva para realizar uma primeira avaliação do estado do sistema de distribuição. Quando uma anormalidade é detectada, um método ativo é empregado para forçar o sistema a uma condição que caracterize o ilhamento.

Como anteriormente mencionado, a detecção de faltas é outra parte importante da detecção de interconexão da DG. As normas operativas das DGs requerem a desconexão imediata no início de qualquer falta. Dentre os tipos faltas, as que envolvem curto-circuito são as mais notáveis, tendo como destaque a falta de curto-circuito monofásico linha-terra que corresponde a 70 % desse fato.

Portanto, este artigo propõe um relé inteligente (RI) com múltiplas funções para sistemas baseados em inversores, utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada de 4 Valores, que permiti efetuar tratamentos de sinais inconsistentes, indeterminado ou indefinidos. A análise de sinais utilizando a LPA4v permite que vários problemas ocasionados por situações contraditórias, imprecisas ou indefinidas possam ser tratados de maneira a detectar a falta ou a falha mais próxima de sua realidade, além de analisar o comportamento dos especialistas no decorrer do tempo. Este método deu origem ao algoritmo denominado “Para– Especialista” implementado no RI.

Este capítulo de livro está dividido nas seguintes seções: A seção 2 apresenta o desenvolvimento e a implementação do relé inteligente multifunção; A seção 3 mostra a simulação em tempo real e análise dos resultados; A seção 4 apresenta as conclusões obtidas do RI.

## 2 I METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO E A IMPLEMENTAÇÃO DO RELÉ INTELIGENTE MULTIFUNÇÃO

### 2.1 A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA)

O RI – LPA4v tem como princípio de funcionamento uma lógica não clássica chamada de Lógica Paraconsistente Anotada (LPA). Que trata contradições, indefinições e imprecisões de dados ou sinais, oriundos de uma mesma fonte ou de fontes diferentes, solucionando essas inconsistências. Pois, para cada proposição, que são as sentenças simbólicas que definem algo como verdadeiro ou falso, são associados dois graus, o grau de evidência favorável ( $\mu$ ) e o grau de evidência desfavorável ( $\lambda$ ). A análise dos graus produz uma saída denominada estado lógico resultante.

#### 2.1.1 Algoritmos da LPA4v lógica

Os algoritmos da Lógica Paraconsistente de 4 Valores estão fundamentados nos Nós de Análise Paraconsistente (NAP). Esses quando interligados compõem a rede neural paraconsistente de análise de tomada de decisão.

Os NAP's são algoritmos extraídos da Lógica Paraconsistente e formam as redes de análise paraconsistente, constituindo o tratamento do evento de ilhamento. Com as suas entradas sendo alimentadas pelos Graus de Evidências retirados de base de dados de conhecimento incerto, os NAP utilizam as equações obtidas da metodologia da LPA e obtêm os resultados finais na forma de Graus de Certeza Real (). Esses valores de podem ser normalizados transformando-se em Grau de Evidência resultante.

A normalização de valores de graus de evidência favorável e desfavorável nos algoritmos da LPA produz na saída do NAP um grau de evidência resultante e um valor de Intervalo de Evidência, ambos pertencentes ao conjunto dos números reais. A representação simbólica de um NAP é exibida na Figura 1.

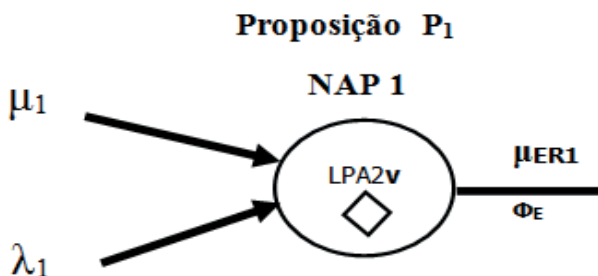


FIGURA 1.0 - Representação de um NAP – Nó de Análises Paraconsistente.

No NAP o valor do Grau de Evidência de Saída representa o valor da evidência resultante a respeito da Proposição Analisada, e o Intervalo de Evidência informa o quanto o valor do sinal de evidência obtido pode variar, com o mesmo Grau de contradição

apresentado pelas informações de evidência aplicadas nas entradas [10][11].

A finalidade do algoritmo do NAP é analisar os valores dos graus de *evidência favorável* e de *evidência desfavorável* conforme a Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores (LPA2v).

O Algoritmo básico de um NAP descrito a seguir:

**1. Entre com os valores de Entrada**

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Graudeevidênciafavorável}}[0,1] \\ \lambda_{\text{Graudeevidênciadesfavorável}}[0,1]\end{aligned}$$

**2. Calcule o Grau de Contradição normalizado**

$$\mu_{ctr} = \frac{\mu + \lambda}{2}$$

**3. Calcule o Intervalo de Evidência resultante**

$$\varphi_E = 1 - |2\mu_{ctr} - 1|$$

**4. Determine o sinal da Saída**

Se  $\varphi_E \leq 0,25$  então faça:  $S1 = 0,5$  e  $S2 = \varphi_{E(\pm)}$  e vá para o item 12

Senão vá para o próximo item

**5. Calcule o Grau de Certeza**

$$G_c = \mu - \lambda$$

**6. Calcule o Grau de Contradição**

$$G_{ct} = (\mu + \lambda) - 1$$

**7. Calcule a distância D**

$$D = \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{ct}^2}$$

**8. Determine o Grau de Certeza real**

Se  $G_c > 0$  então faça:  $G_{CR} = (1 - D)$

Se  $G_c < 0$  então faça:  $G_{CR} = (D - 1)$

**9. Calcule o Grau de Evidência resultante real**

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR} + 1}{2}$$

**10. Determine a sinalização do Intervalo de Evidência resultante**

Se  $\mu_{ctr} < 0,5$  então faça:  $\varphi = \varphi_E$  # Sinalize negativo

Se  $\mu_{ctr} > 0,5$  então faça:  $\varphi = \varphi_E$  # Sinalize positivo

Se  $\mu_{ctr} = 0,5$  então faça:  $\varphi = \varphi_{E(0)}$  # Sinalize zero

**11. Apresente os resultados na saída**

Faça:  $S1 = \mu_{ER}$  e  $S2 = \varphi_{E(\pm)}$

**12. Fim**



Se o sistema perceber um alto grau de informações contraditórias ou inconsistentes poderá solicitar mais informações através de seus especialistas que vão analisar as evidências através dos graus de especialidades ( $e$ ), o grau de especialidade máximo ( $e_{máx}=1$ ) e o grau de especialidade mínimo ( $e_{mín}=0$ ) conhecido como neófito. Os especialistas tem o papel de tomada de decisão de forma coerente com o mínimo de indecisão ou desconhecimento de causa.

O grau de especialidade mínimo ( $e_{mín}$ ) neófito devido sua inexperiência, adquirir a experiência à medida que a variável tempo ( $t$ ) transcorre. Desta forma, sua especialidade aumenta para assim, definir dois estados lógicos Verdadeiro ou Falso. Essa análise pode ser feita para qualquer nível de especialidade. A quarta dimensão “tempo” permiti visualizar o comportamento dos especialistas nas tomadas de decisão do sistema tornando o extremamente sensível. Portanto, a Lógica Paraconsistente Anotada de 4 Valores é representada pela quádrupla  $(\mu, \lambda, e, t)$ .

Através do processo de treinamento, conforme a configuração do alimentador de distribuição, os eventos de ilhamento e de falta são simulados em tempo real. Durante as simulações, as medições de tensão e corrente no ponto de acoplamento comum (PCC) da DG são capturados e armazenados para serem analisados pelo sistema chamado de Nó de Análise Paraconsistente (NAP). Com base nos dados obtidos, os recursos possuem padrões ou características de variação que durante as condições de ilhamento e falta são calculadas, como por exemplo a frequência, taxa de mudança de frequência, potências ativa e reativa. Após os dados serem processados a lógica proposta é utilizada para encontrar as melhores características com altos índices de confiança e segurança que serão incorporadas no relé inteligente (RI).

## 2.2 A Extração das Características

As principais características selecionadas no PCC da DG são utilizadas para formar os modelos de tomada de decisão conforme a Tabela 1.0, onde pode-se notar vinte e sete parâmetros associados a grandezas medidas e/ou calculadas, as quais são utilizadas pelo algoritmo extrator a fim de serem utilizadas pela rede de neural paraconsistente.

Parâmetro	Variável	Descrição	Dimensão
$X_1$	$F$	Frequência	Hz
$X_2$	$\Delta F$	Desvio de frequência	Hz
$X_3$	$dF/dt$	ROCOF	Hz/s
$X_4$	$V$	Tensão	pu
$X_5$	$\Delta V$	Desvio de tensão	pu
$X_6$	$dV/dt$	ROCOV	pu/s
$X_7$	$I$	Corrente	pu
$X_8$	$\Delta I$	Desvio de corrente	pu
$X_9$	$dI/dt$	Taxa de mudança da corrente	pu/s
$X_{10}$	$P$	Potência ativa de saída	pu
$X_{11}$	$\Delta P$	Desvio da potência ativa de saída	pu
$X_{12}$	$dP/dt$	Taxa de mudança da potência ativa de saída	pu/s
$X_{13}$	$Q$	Potência reativa de saída	pu
$X_{14}$	$\Delta Q$	Desvio da potência reativa de saída	pu
$X_{15}$	$dQ/dt$	Taxa de mudança da potência reativa de saída	pu/s
$X_{16}$	$\cos\phi$	Fator de potência	
$X_{17}$	$\Delta\cos\phi$	Desvio do fator de potência	
$X_{18}$	$d\cos\phi/dt$	Taxa de mudança de fator de potência	
$X_{19}$	$\varphi$	Ângulo de fase	rad.
$X_{20}$	$\Delta\varphi$	Desvio do ângulo de fase	rad.
$X_{21}$	$d\varphi/dt$	Taxa de mudança do ângulo de fase	rad./s
$X_{22}$	$V_{THD}$	Distorção total harmônica da tensão	
$X_{23}$	$\Delta V_{THD}$	Desvio da distorção total harmônica da tensão	
$X_{24}$	$d V_{THD}/dt$	Taxa de mudança da distorção harmônica total da tensão	
$X_{25}$	$I_{THD}$	Distorção total harmônica da corrente	
$X_{26}$	$\Delta I_{THD}$	Desvio da distorção total harmônica da corrente	
$X_{27}$	$d I_{THD}/dt$	Taxa de mudança da distorção harmônica total da corrente	

TABELA 1.0 – Parâmetros de entrada do extrator de características.

## 2.3 A Função de Detecção de Ilhamento

Na função de detecção de ilhamento, a lógica do relé é treinada a partir de inúmeros cenários de carregamento do sistema, a fim de cobrir diferentes condições do sistema e minimizar sua zona de não detecção pela escolha das melhores características. Os eventos de abertura dos disjuntores e faltas também podem ser reconhecidos pela função de ilhamento. Além disso, a função de detecção de ilhamento também pode evitar o desarme indevido, já que todos os eventos possíveis que não sejam de ilhamento, como redução de carga, aumento de carga, o chaveamento de capacitores, fazem parte dos cenários de treinamento. Portanto, a lógica de detecção de ilhamento é construída com informações

suficientes para distinguir as condições deilhamento e não ilhamento.

## 2.4 A Função Detecção de Faltas e Funções de Reconhecimento do Tipo de Falta

Esta função detecta todos os tipos de faltas simétricas e assimétricas dentro de suas zonas de proteção empregando diferentes combinações de recursos/parâmetros da DG. Através da Rede de Análise Paraconsistente (NAP) que fornece a informação segura sobre quais as proposições com maior ou menor grau de contradição. Com essas informações o sistema tem condições de tomar decisões mais confiáveis, além de ter os valores para atuar no controle dos sinais de entrada, enfraquecendo ou fortalecendo evidências para diminuir as contradições para produzir um sistema de decisão robusto e capaz de trazer resultado com alto grau de confiabilidade.

Essa função é capaz de identificar quatro tipos de faltas: falta linha-terra (LG), falta linha-linha (LL), falta trifásica de fase (LLL) e falta linha a terra linha a terra (LLG). Além disso, para faltas à terra, as faltas de impedâncias variáveis são consideradas no período de treinamento do relé proposto para melhorar a adaptabilidade da função de detecção de faltas.

## 2.5 A Função de bloqueio seletivo de FRT

A função de bloqueio seletivo de falta proposta é obtida por meio da análise da NAP, usando as informações obtidas pelas funções de detecção de ilhamento, faltas e reconhecimento do tipo de falta se dará o bloqueio.

A Figura 2.0 mostra o diagrama funcional do RI – LPA4v proposto. Indicando para eventos de ilhamento, faltas, bloqueio e identificador de faltas. A lógica de falha é supervisionada pela lógica de bloqueio seletivo através de uma lógica E.

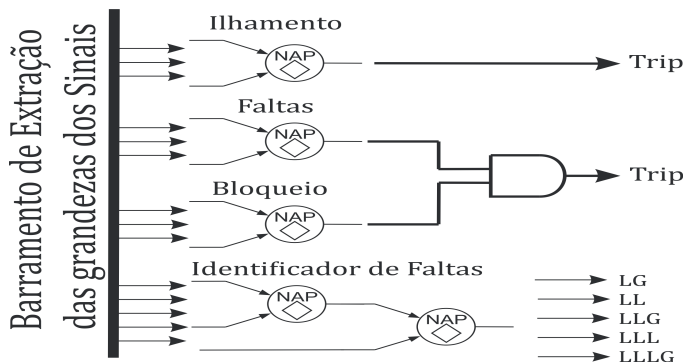


FIGURA 2.0 - Representação de um NAP – Nó de Análises Paraconsistente.

### 3 | SIMULAÇÃO EM TEMPO REAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A fim de avaliar o desempenho RI-LPA4v foram simuladas em tempo real no equipamento Typhoon-HIL a rede de teste do IEEE 34 barras com duas situações de ilhamento, através da abertura da linha que interliga as barras 800 e 802 (Ilhamento 1) e a linha entre 830 e 854. (Ilhamento 2) conforme mostra a Figura 3, onde cada uma das GD's possuía um RI-LPA4v. Foram consideradas duas condições de carga, 100% e 50%. Na primeira a carga do sistema é igual à carga do sistema teste original IEEE 34 barras, na segunda a carga é reduzida em 50%.

Os testes também compreenderam dois níveis de penetração da geração distribuída: 2,5 MW e 1,0 MW, resultando assim em oito situações diferentes. Dessas oito simulações foram incorporadas as faltas nas barras 802, 830, 852 e 842 e também foram consideradas duas impedâncias de falta, de 0  $\Omega$  e 60  $\Omega$ , duas condições de carga, 50% e 100% e no dois níveis de penetração da geração distribuída. Sendo um total de 2160 casos simulados dos quais 50 % foram utilizados para o treinamento da rede neural paraconsistente e os 50% restantes foram utilizados para o reconhecimento dos padrões de ilhamento, faltas, tipos de faltas e bloqueio seletivo.

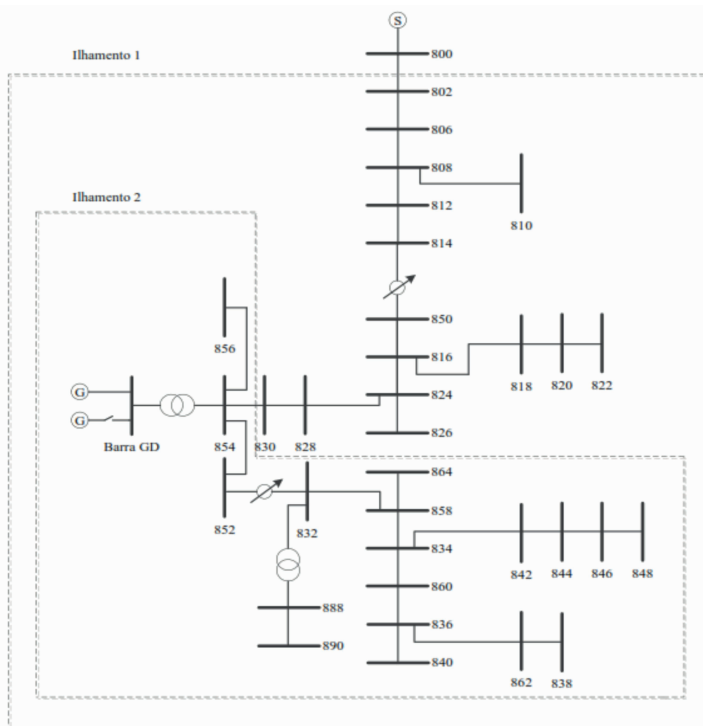


FIGURA 3.0 - Ilhamentos testados no sistema teste IEEE 34 barras [6].

Na Figura 4.0 pode-se notar que o ambiente de simulação em tempo real é realizado

no equipamento Typhoon-HIL, o qual serve de acoplamento para o controle real do Relé Inteligente utilizado no sistema teste IEEE 34 barras.

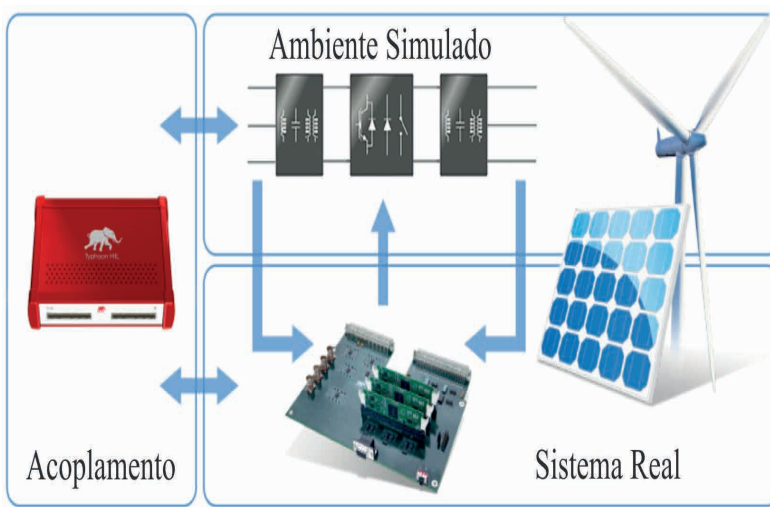


FIGURA 4.0 - Diagrama de funcionamento do sistema em tempo real.

Diante disso, as formas de onda apresentadas na Figura 5.0 caracterizam duas situações. A primeira situação, representada pelas Figuras 5a e 5b, demonstram a frequência e a tensão de linha da fase “a” quando a barra 802 é aberta, respectivamente. Esses sinais foram extraídos da barra DG, que por sua vez, demonstra a capacidade de penetração do RI-LPA4v. A segunda situação, exibida pelas Figuras 5c e 5d, demonstram a frequência e a tensão de linha da fase “a” Quando ocorre um curto-circuito monofásico LG na barra 802, onde é possível ver a capacidade de penetração do RI.

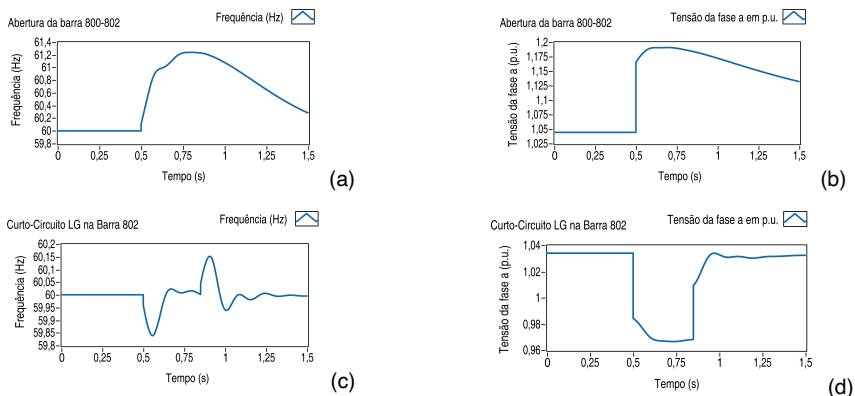


FIGURA 5.0 - Características dos Sinais Extraídos na Barra GD. (a) Característica da frequência durante a abertura da barra 802; (b) Característica da tensão de linha da fase “a” durante a abertura da barra 802; (c) Característica da frequência durante a curto-circuito monofásico LG na barra 802; (d) Característica da tensão de linha da fase “a” durante a curto-circuito monofásico LG na barra 802;



E uma Rede Neural Paraconsistente (RNP) foi desenvolvida com base no algoritmo Para-especialista NAP. O algoritmo formado por 52 NAP's é capaz de analisar a condição de ilhamento baseada na classificação dos desvio e o grau de pertinência de cada um dos desvios. Esses graus de pertinência foram divididos em 3 grandes grupos, o que relaciona tensão, corrente e frequência, o que relaciona as potências com o  $\cos(\varphi)$  e o que relaciona o ângulo com as THD's (tensão e corrente). A Figura 6.0 apresenta a rede neural paraconsistente. Cabe resaltar, que mais 3 algoritmos foram construídos a fim de completar as funções do RI. Nesse trabalho apenas é demonstrado o algoritmo principal. Portanto, os eventos de faltas, bloqueio e identificador de faltas não são exibidos, mas para o funcionamento foram incorporados do controlador.

Após o treinamento da rede neural paraconsistente, com base na lógica proposta, são apresentados os seguintes resultados na Figura 7, onde pode-se notar as comparações de desempenho entre o relé inteligente proposto e a atuação dos relés ROCOF e ROCOV. Na Figura 7a compara o RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG1 com os ajustes de 0,1 Hz/s e 0,25 Hz/s mediante a variação da potência ativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência ativa corresponde a 100 % dos acertos. Na Figura 7b a comparação o RI-LPA4v com o relé ROCOV na DG1 com os ajustes de 0,07 V/s e 0,1 V/s mediante a variação da potência reativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência reativa corresponde a 100 % dos acertos.

Na Figura 7c compara o RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG2 com os ajustes de 0,1 Hz/s e 0,25 Hz/s mediante a variação da potência ativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência ativa corresponde a 100 % dos acertos. Na Figura 7d a comparação o RI-LPA4v com o relé ROCOV na DG2 com os ajustes de 0,07 V/s e 0,1 V/s mediante a variação da potência reativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência reativa corresponde a 100 % dos acertos. A consolidação da comparação do Relé Inteligente Multifuncional com o relé ROCOF é exibida na Figura 7e e finalizando, a Figura 7f revela a comparação consolidada entre o RI-LPA4v com o relé ROCOF onde a taxa de confiabilidade foi de 100 %.

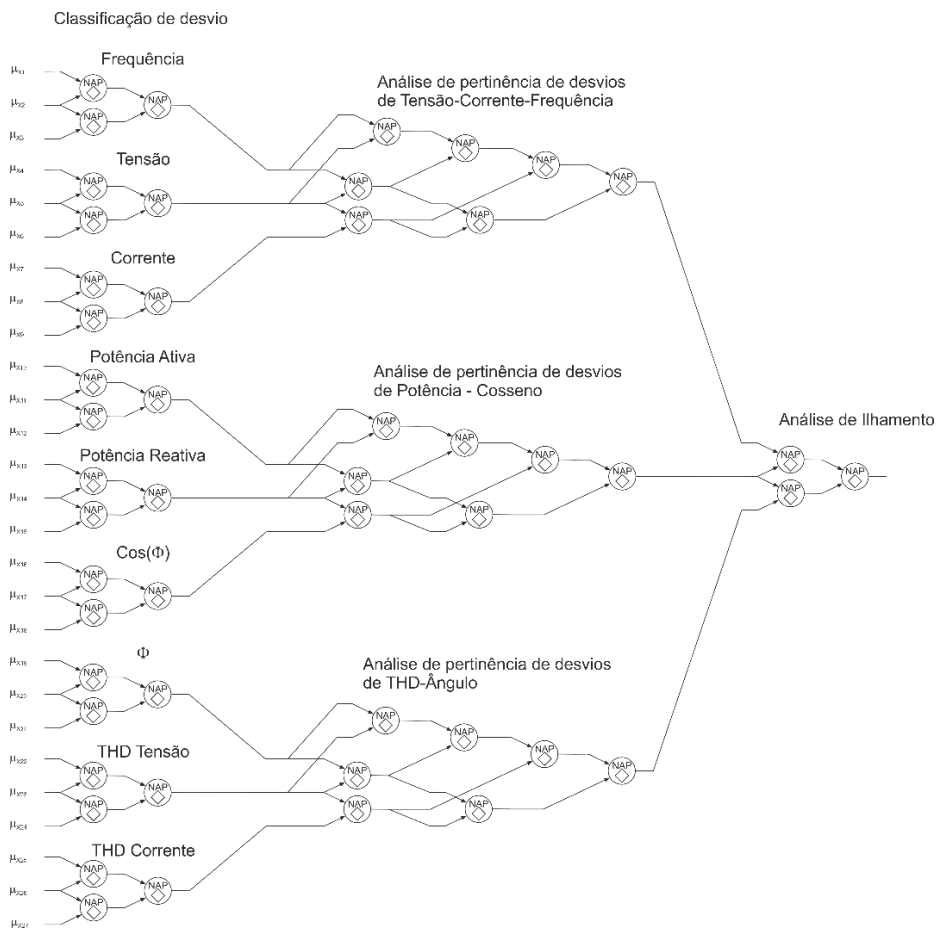
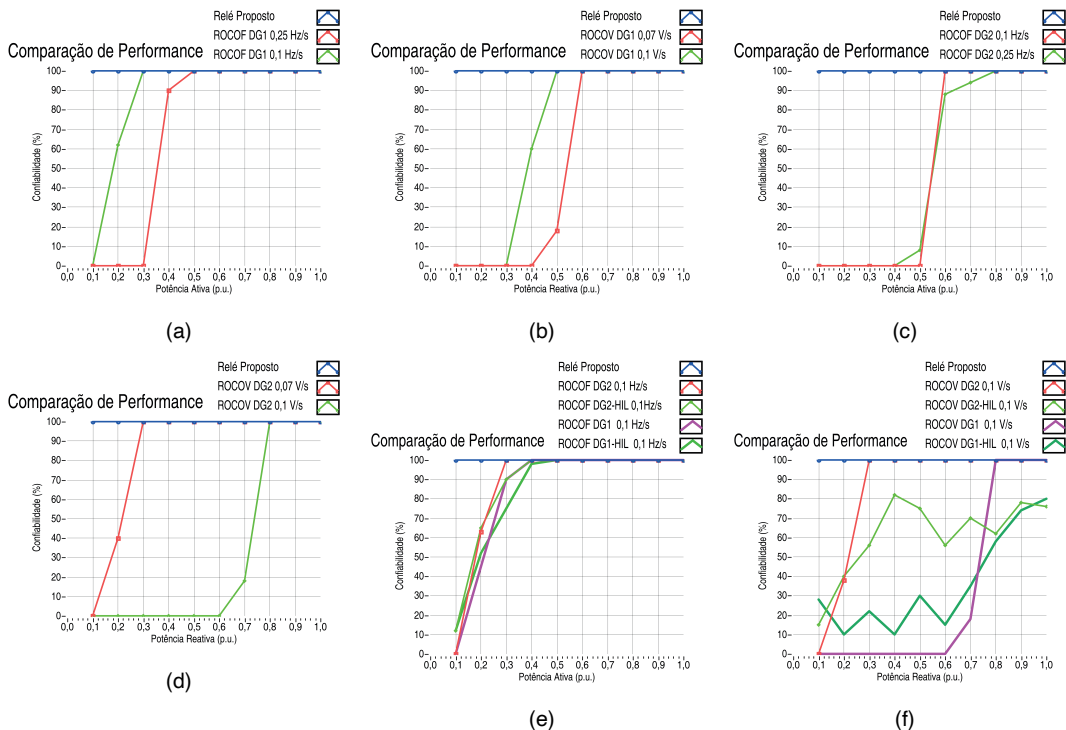


FIGURA 6.0 - Diagrama da Rede Neural Paraconsistente aplicada no reconhecimento de ilhamento.



## 4 | CONCLUSÃO

Portanto, o relé RI-LPA4v se mostrou eficiente quando comparado a métodos de reconhecimento de ilhamento tradicional ROCOF e ROCOV. É observado que os relés ROCOF e ROCOV falharam no reconhecimento de ilhamento sempre que a potência ativa ou reativa eram baixas, na ordem de 0,1 a 0,5 p.u..

Além disso, o relé RI-LPA4v em qualquer operação de potência respondeu de forma bastante relevante, pois obteve 100% dos acertos. Dessa forma, devido a natureza do NAP a velocidade de processamento de reconhecimento de ilhamento e faltas é rápida, da ordem de 10,3 a 45,8 %. Outra é que o custo computacional do algoritmo é muito baixo, pois envolvem operações matemáticas simples podendo ser aplicados em processadores digitais de sinal.

## REFERÊNCIAS

- (1) KHAMIS, A.; SHAREEF, H.; BIZKEVELCI, E. and KHATIB, T. "A Review of islanding Detection Techniques for Renewable Distributed Generation Systems", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 28, pp. 483–493, 2013.
- (2) REIGOSA, D. *et al.* "Active Islanding Detection Using High-Frequency Signal Injection", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 48, no. 5, pp. 1588–1597, 2012.
- (3) LAGHARI, J. *et al.* "Computacional Intelligence based techniques for islanding detection of distributed network: A review", *Energy conversion and Management*, Elsevier, v. 88. P. 139 – 152, 2014.
- (4) de CARVALHO, M. S. C., "A Análise de Técnicas de Detecção de Ilhamento Ativas em Sistemas de Geração Distribuída Baseados em Inversores Fonte de Tensão", Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Área de Concentração em Sistemas Dinâmicos – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.
- (5) BITTENCOURT, A. A. "Proteção adaptativa de alimentadores de distribuição de energia elétrica considerando a geração distribuída". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.
- (6) MARCHESAN, G. "Detecção de ilhamento em sistemas de distribuição com geração síncrona distribuída". 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.
- (7) MENON, V.; NEHRIR, M. H. "A hybrid islanding detection technique using voltage unbalance and frequency set point". *IEEE Transactions on Power Systems*, [S.l.], v.22, n.1, p.442–448, 2007.67.
- (8) LAGHARI, J.; MOKHLIS, H.; KARIMI, M.; BAKAR, A.; MOHAMAD, H. "An islanding detection strategy for distribution network connected with hybrid DG resources". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v.45, p.662–676, 2015.
- (9) da SILVA FILHO, J. I. "Algorithms based on paraconsistent annotated logic for applications in expert systems". In: *Segura JM, Reiter AC (eds) Expert system software: engineering, advantages and applications*. Nova Science Publishers, Hauppauge. ISBN 978-1-61209-114-3. 2011.
- (10) da SILVA FILHO, J. I.; ABE J. M.; TORRES, G. L. "Inteligência Artificial com Redes de Análise Paraconsistentes" editora LTC, Rio de Janeiro, 2008.
- (11) MARTINS, H. G.; TORRES, G. L.; POTIN, L. F. "A Lógica Paraconsistente Anotada". Editora Comunicar, Santos, 2007.
- (12) KAR, S. and SAMANTARAY, S. R. "Data-mining-based intelligent anti-islanding protection relay for distributed generations," in *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 8, no. 4, pp. 629-639, April 2014. doi: 10.1049/iet-gtd.2013.0494.

# ACESSO REMOTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO DE DADOS VIA PYTHON

Data de submissão: 07/12/2023

Data de aceite: 02/01/2024

### **William Aparecido Celestino Lopes**

Centro de Formação Profissional SENAI  
'VOLKSWAGEN'  
São Bernardo do Campo – SP  
<https://orcid.org/0009-0009-4437-776X>

### **Adilson Cunha Rusteiko**

Centro de Formação Profissional SENAI  
'VOLKSWAGEN'  
São Bernardo do Campo – SP  
<https://orcid.org/0009-0009-2753-8576>

### **Nicolas Vinicius Cruz Honório**

Centro de Formação Profissional SENAI  
'VOLKSWAGEN'  
São Bernardo do Campo – SP  
<https://orcid.org/0000-0001-7826-4709>

### **Cleiton Rodrigues Mendes**

Centro de Formação Profissional SENAI  
'VOLKSWAGEN'  
São Bernardo do Campo – SP  
<https://orcid.org/0009-0003-6350-5321>

**RESUMO:** O desenvolvimento de sistemas industriais automatizados robustos e eficientes que atendam às necessidades de rápida tomada de decisão em ambientes industriais, necessita de uma série de ferramentas integradas e, em um mundo

globalizado, o acesso aos dados associados ao processo não pode ser limitado a verificações de campo. O objetivo deste artigo foi a criação de uma sistemática para acessar de forma remota um reservatório com sistema automatizado para que seus dados fossem monitorados e exibidos em um *dashboard* disponibilizado na web via programação em Python. A metodologia utilizada no desenvolvimento do artigo foi uma abordagem experimental via estudo de caso a fim de simular o funcionamento do sistema ciberfísico envolvendo o reservatório até a disponibilização dos dados coletados via web. Na finalização das etapas da arquitetura aplicada no projeto foi possível verificar como resultado a apresentação remota em tempo real dos dados coletados do CLP e IHM via software TIA Portal V15 do reservatório e apresentados no *dashboard*. O estudo do sistema ciberfísico integrando o reservatório junto aos dados apresentados em *dashboard* proporcionou o acesso remoto de forma eficiente para o monitoramento dos dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas Ciberfísicos, Monitoramento de Dados, Python, CLP, Dashboard

# REMOTE ACCESS TO AN AUTOMATED SYSTEM FOR DATA MONITORING VIA PYTHON

**ABSTRACT:** The development of robust and efficient automated industrial systems that meet the needs of rapid decision-making in industrial environments requires a series of integrated tools and, in a globalized world, access to data associated with the process cannot be limited to field's verifications. The objective of this article was to create a system to remotely access a reservoir with an automated system so that its data could be monitored and displayed on a dashboard available on the web via Python programming. The methodology used in developing the article was an experimental approach via case study to simulate the functioning of the cyber-physical system involving the reservoir until the data collected via the web was made available. Upon completion of the architecture steps applied in the project, it was possible to verify the result of the real-time remote presentation of data collected from the PLC and HMI via the reservoir's TIA Portal V15 software and presented on the dashboard. The study of the cyber-physical system integrating the reservoir with the data presented on the dashboard provided efficient remote access for data monitoring.

**KEYWORDS:** Cyberphysical Systems, Data Monitoring, Python, PLC, Dashboard

## 1 | INTRODUÇÃO

O processo de automatização de sistemas ciberfísico visa melhorar o desempenho dos processos, assegurar a qualidade dos produtos, diminuir perdas e desperdícios e aumentar a lucratividade das organizações industriais [1].

Com a introdução dos conceitos da Indústria 4.0, aumentou significativamente a quantidade de dados a serem processados e analisados. Com isso, as empresas requerem sistemas inteligentes capazes de fazer o armazenamento, tratamento e disponibilização e monitoramento dos dados [2].

O monitoramento remoto e a utilização de sistemas virtuais são utilizados amplamente pelas organizações industriais, por não precisarem de máquinas físicas robustas e por possibilitar o acesso às informações de qualquer lugar e horário [3].

Para agilizar a tomada de decisão na resolução de problemas e no melhoramento contínuo dos processos, os dados a serem analisados necessitam ser coletados em tempo real e tratados de forma clara e coesa [4].

Nesse sentido, esta pesquisa objetivou desenvolver uma aplicação para monitorar os dados de um sistema ciberfísico em tempo real, gerando informações gerenciais.

## 2 | REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Programação de um sistema automatizado via CLP

A automação industrial tem desempenhado um papel crucial na otimização de processos produtivos, permitindo a execução de tarefas de forma eficiente e precisa. Uma das possibilidades de realizar atividades de forma automatizada é a programação de um

sistema via Controlador Lógico Programável (CLP) [1].

A definição precisa das funcionalidades do sistema, atribuídas aos CLPs, é um ponto de partida essencial para o desenvolvimento de soluções flexíveis no ambiente automatizado. Como dispositivo central no controle de processos industriais, o CLP é caracterizado pela sua capacidade de executar operações lógicas, aritméticas e temporais com segurança [5].

A programação de um sistema automatizado via CLP envolve a elaboração de um conjunto estruturado de instruções que orientam o comportamento do sistema em resposta a estímulos externos. A precisão na definição das condições e ações associadas é fundamental para assegurar o desempenho confiável do sistema [6].

A utilização de linguagens de programação adequadas, como as linguagens Lista de Instruções (IL), Ladder e Blocos de Funções (FBD), permite uma representação intuitiva e eficiente das operações a serem realizadas pelo CLP. Além disso, a modularidade e a reutilização de trechos de código contribuem para a manutenção simplificada e aprimoramento contínuo do sistema, aspectos cruciais na programação de sistemas automatizados via CLP [7].

O banco de dados do CLP desempenha um papel significativo na implementação de sistemas automatizados. Este banco de dados armazena as variáveis, parâmetros e estados do sistema, proporcionando uma interface entre a programação e a execução das operações. A definição adequada do banco de dados é essencial para garantir a consistência e integridade das informações utilizadas pelo CLP durante a execução do programa [8].

A obtenção eficiente e segura de dados de sistemas automatizados torna-se cada vez mais crucial na era da Indústria 4.0. Diante deste cenário o acesso remoto para o monitoramento e controle de processos industriais que utilizam CLPs necessitam de programas robustos e flexíveis além de segurança no acesso dos dados [4].

## **2.2 Acesso remoto aos dados de um sistema automatizado via Snap7 Python**

Para ilustrar a integração do cenário, uma biblioteca de código aberto programada em C/C++ é apresentada, a Snap7, que permite a comunicação dos CLPs da fabricante Siemens. A biblioteca possibilita que desenvolvedores comuniquem CLPs dos modelos S7-300 [9] e S7-1200 [10] usando uma variedade de protocolos de comunicação, como ISO-on-TCP (RFC1006), S7 Communication (ISO 8073) e MPI.

Para interagir e trocar dados com CLPs Siemens S7 em ambientes industriais uma interface foi desenvolvida na linguagem de programação Python para integrar a biblioteca Snap7 denominado Snap7 Python. A interface permite que desenvolvedores implementem lógica de controle, monitorem variáveis e troquem dados entre os CLPs em ambientes industriais [11].

Python é uma linguagem de programação simples e clara, porém poderosa. A linguagem cresceu ao longo dos anos em áreas da computação, utilizada, como por exemplo, em banco de dados, além de uma vasta biblioteca à disposição, pois é um software livre [12].

A comunicação de dados via Snap7 Python constitui um elo essencial entre a programação em Python e os CLPs que controlam o sistema automatizado. A compreensão aprofundada dos protocolos de comunicação e dos mecanismos de segurança envolvidos é fundamental para garantir a integridade dos dados transmitidos e a segurança do acesso remoto [13].

A eficiência na comunicação dos dados influencia diretamente na resposta em tempo real do sistema, sendo, portanto, um elemento crítico na arquitetura do acesso remoto via Snap7 Python, ao garantir a confiabilidade dos dados transitados pelo processo industrial [14].

## **2.3 Tratamento de dados para monitoramento via Dashboard**

O desenvolvimento de sistemas automatizados para monitoramento de dados industriais é fundamental para a tomada de decisões. Dentro desse escopo, destaca a necessidade de estabelecer Key Performance Indicators (KPIs) em pontos críticos dos processos industriais [15].

A identificação precisa de variáveis transmitidas via CLPs como atuadores e sensores é um ponto estratégico para diversas empresas do segmento da automação industrial, a fim de garantir que as métricas fiquem alinhadas com o processo de avaliação de desempenho [16].

A elaboração de gráficos e tabelas, conhecidos como Dashboards, surge como uma ferramenta essencial na visualização e interpretação dos dados coletados nos processos industriais em tempo real. Esses Dashboards não apenas proporcionam uma representação gráfica intuitiva, mas também oferecem dinamismo no acesso às informações [17].

A capacidade de personalizar e apresentar visualmente os dados facilita a compreensão rápida e eficaz, permitindo uma análise aprofundada do desempenho dos processos monitorados [18].

A transformação de dados do chão de fábrica de sistemas automatizados em informações gerenciais explicita oportunidades de melhoria e otimização, além de auxiliar na tomada de decisões embasadas e estratégicas [19].

Essa arquitetura possibilita uma abordagem proativa na identificação de possíveis problemas nos processos industriais ao interpretar padrões e tendências nos dados coletados, permitindo assim a implementação de medidas corretivas antes que impactem significativamente a produção [20].



### 3 | METODOLOGIA

A metodologia adotada no presente estudo é fundamentada em uma abordagem experimental empregando técnicas específicas para investigar o acesso remoto de um sistema automatizado destinado ao monitoramento de dados via Python. O estudo de caso delineado nesta pesquisa foi concebido para simular o funcionamento de um sistema ciberfísico composto por um reservatório de líquidos, duas eletroválvulas de simples solenoide, um sensor vertical para detecção de nível, junto a um PLC, uma *Human Machine Interface* e um banco de dados.

Para o monitoramento e controle do estudo, foi implementada uma lógica de controle estratégica, ajustando variáveis em conformidade com os requisitos predefinidos.

A análise dos dados aplicados no estudo concentrou-se na avaliação do desempenho do acesso remoto, considerando métricas cruciais, como o tempo de resposta do sistema às condições estabelecidas, a precisão no controle do nível do reservatório e a eficácia na ativação do sistema de emergência. A arquitetura adotada no estudo pode ser visualizada na figura 1.



Figura 1. Esquema da modelagem sistêmica aplicada ao estudo

Fonte: Autores (2023)

#### 3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O sistema ciberfísico é constituído por um reservatório de líquidos para controle de nível. O reservatório é composto por duas eletroválvulas de simples solenoide, um sensor vertical para detecção de nível.

Inicialmente é definido um valor de nível mínimo, equivalente a 10% do volume de líquido do reservatório. Quando este nível for atingido, abre-se a solenoide da eletroválvula de entrada para o enchimento do reservatório.

Quando o volume de líquido atingir o valor equivalente a 80%, fecha-se a solenoide da eletroválvula de entrada cessando o enchimento do reservatório.

A eletroválvula de saída alimenta o processo permanecendo aberta constantemente. Entretanto, quando for acionado o sistema de emergência as duas eletroválvulas devem fechar por questão de segurança.

3.2 Materiais e métodos

A metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto foi estruturada em quatro etapas distintas, iniciando pela definição do sistema ciberfísico, seguida pela comunicação, monitoramento e por fim acesso remoto via web.

A primeira etapa consistiu na definição da estrutura ciberfísica, composta pelo PLC Siemens S7-1200 modelo 1214C DC/DC/DC, IHM Siemens KTP 400 Basic. Essa escolha foi dirigida pela robustez e confiabilidade desses dispositivos, essenciais para as demandas operacionais de sistemas automatizados.

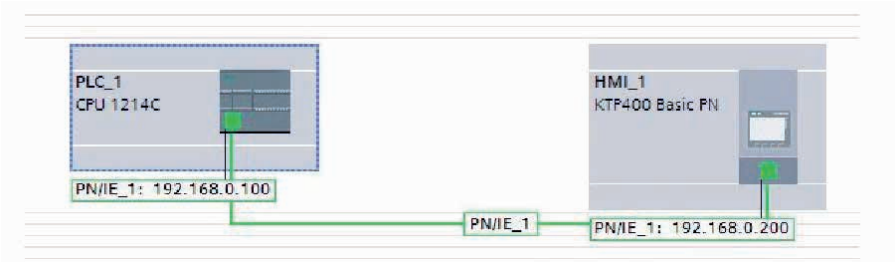


Figura 2 – Estrutura ciberfísica  
Fonte: (Autores, 2023)

Na segunda etapa, focalizou-se na comunicação entre os componentes do sistema ciberfísico, utilizando softwares específicos. O ambiente de desenvolvimento TIA Portal V15 foi empregado para a programação do PLC. Primeiramente foi atribuído variáveis do sistema ao banco de dados.

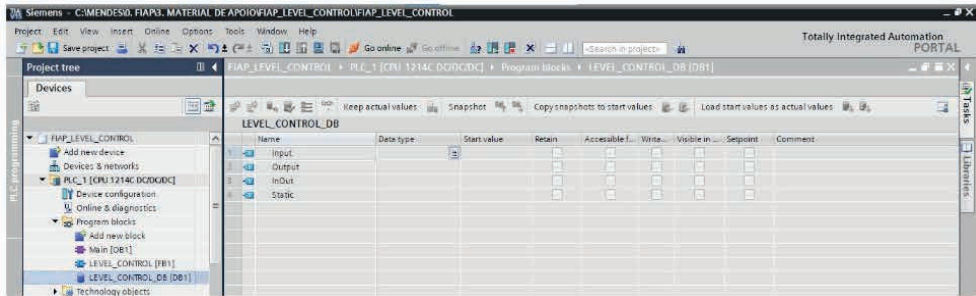


Figura 3 – Banco de dados do CLP  
Fonte: Autores (2023)

O bloco de programação foi elaborado utilizando a linguagem Ladder, que se mostrou eficaz na aquisição dos dados físicos e no controle do sistema automatizado.

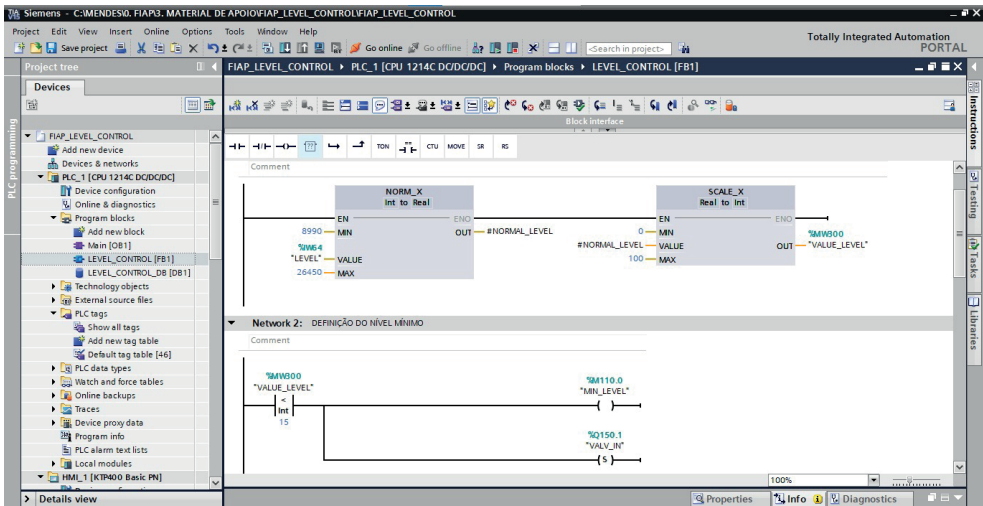


Figura 4 – Linguagem de Programação do CLP

Fonte: Autores (2023)

O desenvolvimento da interface homem-máquina foi constituído no software WINCC TIA Portal V15, que possibilitou a operação e monitoramento do sistema ciberfísico, localmente, com uma aplicação gráfica e interativa.

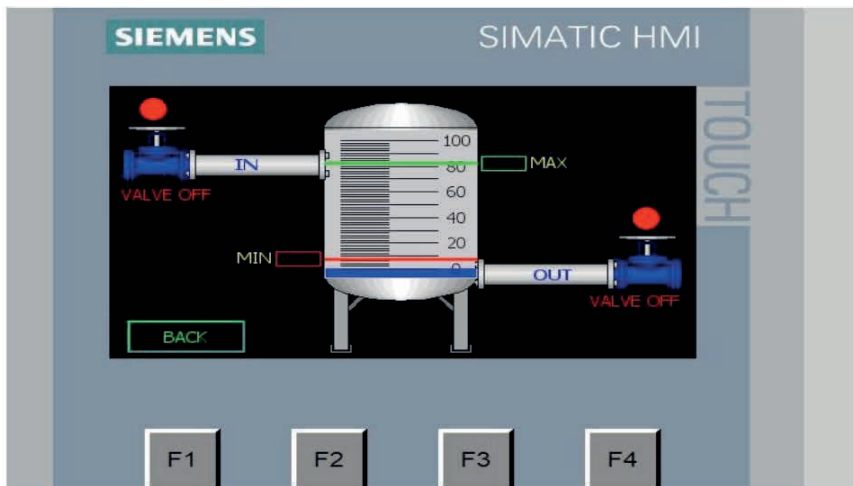
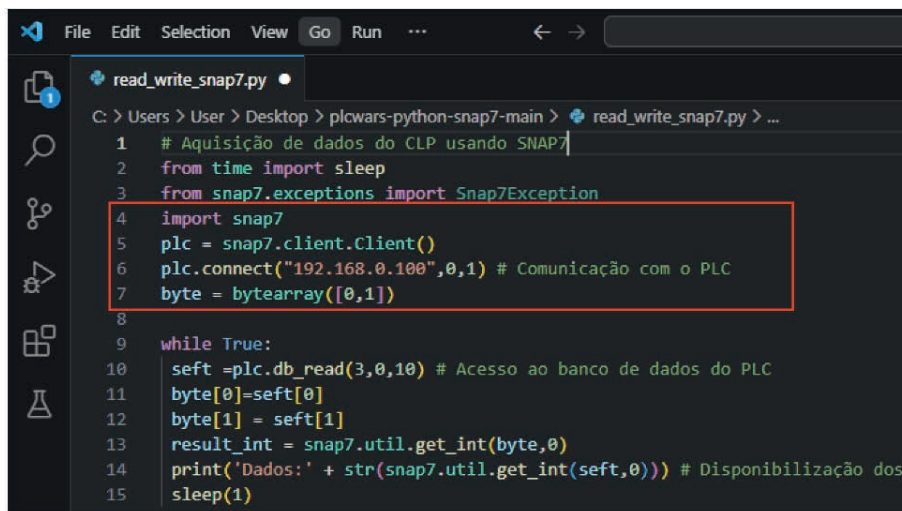


Figura 5 – Interface homem-máquina

Fonte: Autores (2023)

O software Visual Studio Code e a biblioteca python-snap7 foram utilizadas para a

aquisição de dados do sistema ciberfísico possibilitando o acesso remoto aos dados.



```
File Edit Selection View Go Run ...  
read_write_snap7.py  
C: > Users > User > Desktop > plcvars-python-snap7-main > read_write_snap7.py > ...  
1 # Aquisição de dados do CLP usando SNAP7  
2 from time import sleep  
3 from snap7.exceptions import Snap7Exception  
4 import snap7  
5 plc = snap7.client.Client()  
6 plc.connect("192.168.0.100",0,1) # Comunicação com o PLC  
7 byte = bytearray([0,1])  
8  
9 while True:  
10     seft = plc.db_read(3,0,10) # Acesso ao banco de dados do PLC  
11     byte[0]=seft[0]  
12     byte[1] = seft[1]  
13     result_int = snap7.util.get_int(byte,0)  
14     print('Dados: ' + str(snap7.util.get_int(seft,0))) # Disponibilização dos  
15     sleep(1)
```

Figura 6 – Aquisição Interface homem-máquina

Fonte: Autores (2023)

O terceiro estágio concentrou-se no monitoramento dos processos por meio de Dashboards, elaborados com base nos dados coletados em tempo real dos processos industriais. A representação gráfica desses dados proporcionou uma visualização intuitiva e dinâmica, facilitando a análise do desempenho operacional. A eficácia dessa etapa é crucial para assegurar que as informações sejam apresentadas de maneira acessível e compreensível, contribuindo assim para a tomada de decisões informadas e rápidas.

A quarta e última etapa da metodologia concentrou-se no desenvolvimento do acesso remoto para publicar em uma página na WEB. Essa etapa envolveu a implementação de uma interface web que permitisse o acesso remoto seguro aos dados do sistema automatizado.

A escolha de publicar os dados na WEB foi fundamentada na sua capacidade de fornecer uma plataforma robusta e confiável para o compartilhamento de informações. Isso não apenas amplia a acessibilidade aos dados, mas também proporciona flexibilidade para os usuários acessarem as informações remotamente, contribuindo para a eficiência operacional e a tomada de decisões ágeis.



Figura 7 – Publicação dos dados na web

Fonte: Autores (2023)

## 4 | RESULTADOS

A implementação da metodologia proposta evidenciou resultados consistentes e eficazes no acesso remoto de um sistema automatizado para o monitoramento de dados via Python. A arquitetura proposta na metodologia, ressaltou a integração direta dos componentes, fundamentando a confiabilidade do sistema em tempo real, auxiliando o processo de gerenciamento das informações.

O estudo de caso permitiu uma análise detalhada e estruturada do desempenho do sistema ciberfísico, evidenciando a interação fluida entre o PLC, IHM, banco de dados e a comunicação remota. A lógica de controle estratégica implementada demonstrou uma resposta precisa às condições predefinidas, possibilitando o controle efetivo do reservatório.

A condução do estudo de caso permitiu a definição precisa de variáveis críticas para o acesso remoto, delineando parâmetros fundamentais para o funcionamento do reservatório. Este processo envolveu a definição de um valor mínimo de nível, correspondente a 10% do volume do reservatório, que acionou a abertura da eletroválvula de entrada. Com o alcance de 80% do volume, a solenoide da eletroválvula de entrada foi fechada, cessando o enchimento. Foi observado também que o controle incorporou a funcionalidade de acionamento do sistema de emergência, resultando no fechamento simultâneo das duas eletroválvulas por razões de segurança.

## 5 | CONCLUSÃO

Este estudo oferece uma contribuição relevante no contexto do acesso remoto a sistemas automatizados para o monitoramento eficiente de dados via Python. A metodologia

desenvolvida estabeleceu uma base sólida para a integração coesa de componentes essenciais, desde o PLC até a interface web, garantindo a funcionalidade do sistema podendo ser replicado em outros processos industriais.

A implementação da metodologia demonstrou a aplicabilidade prática da abordagem proposta, permitindo a obtenção de dados em tempo real, monitoramento remoto eficaz e controle seguro do sistema ciberfísico. Os resultados obtidos confirmam a eficácia da lógica de controle implementada, contribuindo para a otimização dos processos industriais.

O estudo evidenciou ainda que, a aplicação do acesso remoto via Python em sistemas automatizados é uma solução viável, proporcionando uma resposta ágil e confiável às demandas da Indústria 4.0. A arquitetura delineada e os resultados obtidos estabeleceram um alicerce sólido para investigações futuras, destacando o potencial dessa abordagem na automação industrial.

## REFERÊNCIAS

- [1] M. Wollschlaeger, T. Sauter, e J. Jasperneite, “The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0”, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 11, nº 1, p. 17–27, 2017, doi: 10.1109/MIE.2017.2649104.
- [2] X. Huang, “Intelligent remote monitoring and manufacturing system of production line based on industrial Internet of Things,” *Computer Communications*, vol. 150, pp. 421–428, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2019.12.011.
- [3] B. K. Gupta and V. Rastogi, “Integration of technology to access the manufacturing plant via remote access system - A part of Industry 4.0,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 56, pp. 3497–3505, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.135.
- [4] F. Mo *et al.*, “PLC orchestration automation to enhance human–machine integration in adaptive manufacturing systems”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 71, p. 172–187, dez. 2023, doi: 10.1016/j.jmsy.2023.07.015.
- [5] M. Zhou e E. Twiss, “Design of industrial automated systems via relay ladder logic programming and petri nets”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, vol. 28, nº 1, p. 137–150, 1998, doi: 10.1109/5326.661096.
- [6] C. Saygin e F. Kahraman, “A Web-based programmable logic controller laboratory for manufacturing engineering education”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 24, nº 7–8, p. 590–598, 2004, doi: 10.1007/s00170-003-1787-7.
- [7] M. C. Zhou e E. Twiss, “Design of industrial automated systems via relay ladder logic programming and Petri nets”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 28, nº 1, p. 137–150, fev. 1998, doi: 10.1109/5326.661096.
- [8] J. Figueiredo e M. A. Botto, “Automatic control strategies implemented on a water canal prototype”, apresentado em IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 2005, p. 22–27. doi: 10.3182/20050703-6-cz-1902.02094.

- [9] J. Li *et al.*, “Development of a Measurement and Control System for a 40l/h Helium Liquefier based on Siemens PLC S7-300”, *Physics Procedia*, vol. 67, p. 1181–1186, jan. 2015, doi: 10.1016/j.phpro.2015.06.185.
- [10] F. Mo *et al.*, “PLC orchestration automation to enhance human–machine integration in adaptive manufacturing systems”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 71, p. 172–187, dez. 2023, doi: 10.1016/j.jmsy.2023.07.015.
- [11] “Snap7 Homepage”. Acesso em: 29 de novembro de 2023. [Online]. Disponível em: <https://snap7.sourceforge.net/>
- [12] B. Zohuri, F. Mossavar-Rahmani, and F. Behgounia, “Chapter 26 - Python programming–driven artificial intelligence,” in *Knowledge is Power in Four Dimensions: Models to Forecast Future Paradigm*, B. Zohuri, F. Mossavar-Rahmani, and F. Behgounia, Eds., Academic Press, 2022, pp. 827–836. doi: 10.1016/B978-0-323-95112-8.00026-X.
- [13] R. Ghanim, A. Kaushik, J. Park, e A. Abramson, “Communication protocols integrating wearables, ingestibles, and implantables for closed-loop therapies”, *Device*, vol. 1, nº 3, p. 100092, set. 2023, doi: 10.1016/j.device.2023.100092.
- [14] A. Gerodimos, L. Maglaras, M. A. Ferrag, N. Ayres, e I. Kantzavelou, “IoT: Communication protocols and security threats”, *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, vol. 3, p. 1–13, jan. 2023, doi: 10.1016/j.iotcps.2022.12.003.
- [15] A. Faveto, E. Traini, G. Bruno, e F. Lombardi, “Development of a key performance indicator framework for automated warehouse systems”, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, nº 1, p. 116–121, jan. 2021, doi: 10.1016/j.ifacol.2021.08.013.
- [16] S. Ferreira, F. J. G. Silva, R. B. Casais, M. T. Pereira, e L. P. Ferreira, “KPI development and obsolescence management in industrial maintenance”, *Procedia Manufacturing*, vol. 38, p. 1427–1435, jan. 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.145.
- [17] B. Meyers *et al.*, “Knowledge Graphs in Digital Twins for Manufacturing - Lessons Learned from an Industrial Case at Atlas Copco Airpower”, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, nº 10, p. 13–18, jan. 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.09.361.
- [18] I. Yousef, A. Tulsyan, S. L. Shah, e R. B. Gopaluni, “Visual analytics for process monitoring: Leveraging time-series imaging for enhanced interpretability”, *Journal of Process Control*, vol. 132, p. 103127, dez. 2023, doi: 10.1016/j.jprocont.2023.103127.
- [19] A. Farooqui, K. Bengtsson, P. Falkman, e M. Fabian, “From factory floor to process models: A data gathering approach to generate, transform, and visualize manufacturing processes”, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 24, p. 6–16, jan. 2019, doi: 10.1016/j.cirpj.2018.12.002.
- [20] A. Ragab, M. El Koujok, H. Ghezzaz, M. Amazouz, M.-S. Ouali, e S. Yacout, “Deep understanding in industrial processes by complementing human expertise with interpretable patterns of machine learning”, *Expert Systems with Applications*, vol. 122, p. 388–405, maio 2019, doi: 10.1016/j.eswa.2019.01.011.

# MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA: CONTEXTUALIZAÇÃO DAS FONTES DE ENERGIA E CARACTERIZAÇÃO DAS USINAS HIDRELÉTRICAS

*Data de submissão: 30/11/2023*

*Data de aceite: 02/01/2024*

### **Renato Grethe Negri**

Universidade Federal de Santa Maria,  
Curso de Graduação em Engenharia  
Elétrica  
Santa Maria – Rio Grande do Sul  
<<http://lattes.cnpq.br/9607795757047650>>

### **Marcelo Bruno Capeletti**

Universidade Federal de Santa Maria,  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica  
Santa Maria – Rio Grande do Sul  
<<http://lattes.cnpq.br/1922799731958383>>

### **Leonardo Nogueira Fontoura da Silva**

Universidade Federal de Santa Maria,  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica  
Santa Maria – Rio Grande do Sul  
<<http://lattes.cnpq.br/8009856508464151>>

### **Aizenira da Rosa Abaide**

Universidade Federal de Santa Maria,  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica  
Santa Maria – Rio Grande do Sul  
<<http://lattes.cnpq.br/2427825596072142>>

### **Bruno Knevitx Hammerschmitt**

Universidade Federal de Santa Maria,  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica  
Santa Maria – Rio Grande do Sul  
<<http://lattes.cnpq.br/4865207592578956>>

**RESUMO:** O sistema elétrico brasileiro é caracterizado por ser um sistema de larga escala com majoritariedade de usinas hidrelétricas. A produção de energia elétrica nas usinas hidrelétricas é influenciada pelo nível do reservatório, o qual pode variar devido a fatores naturais e humanos. A escassez hídrica causada pela desregularização dos períodos chuvosos são fatores impactantes para redução dos potenciais hidráulicos. Contudo, o aproveitamento dos recursos hídricos ao considerar usinas hidrelétricas em cascata maximiza a produção de eletricidade. Diante disto, este estudo tem por objetivo em esclarecer as perspectivas das diferentes fontes de energia que compõem a matriz elétrica, dando destaque para as usinas hidrelétricas. Também serão elucidadas as principais caracterizações das hidrelétricas. Por fim, ressalta-se a importância da geração hídrica no sistema elétrico brasileiro, que por sua vez, proporciona uma matriz energética mais sustentável e eficiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Usinas hidrelétricas; geração hídrica; sistema elétrico brasileiro; energias renováveis.



# BRAZILIAN ELECTRIC MATRIX: CONTEXTUALIZATION OF ENERGY SOURCES AND CHARACTERIZATION OF HYDROPOWER PLANTS

**ABSTRACT:** The Brazilian electrical system is characterized by being a large-scale system with a majority of hydropower plants. The electrical energy production in hydropower plants is influenced by the reservoir level, which can vary due to natural and human factors. Hydro scarcity caused by the deregularization of rainy periods is an impactful factor in reducing hydraulic potentials. However, using hydro resources when considering cascade hydropower plants maximizes electricity production. Therefore, this study aims to clarify the perspectives of the different energy sources that make up the electrical matrix, highlighting hydropower plants. The main characteristics of hydropower will also be elucidated. Finally, the importance of hydro generation in the Brazilian electrical system is stressed, which in turn provides a more sustainable and efficient energy matrix.

**KEYWORDS:** Hydropower plants; hydro generation; Brazilian electrical system; renewable energy.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) é caracterizado por ser um sistema de larga escala, com diferentes fontes de energia centralizada para atendimento das demandas do Sistema interligado Nacional (SIN), gerido e coordenado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). O SEB conta com uma matriz elétrica predominante de base renovável, onde as Usinas Hidrelétricas (UHEs) de grande proporção possuem destaque.

A produção de energia elétrica através das UHEs é uma importante fonte de abastecimento para muitas regiões do mundo. No entanto, a eficiência e a capacidade dessas usinas podem ser significativamente influenciadas pelo nível do reservatório, que está sujeito a variações causadas tanto por fatores naturais quanto por ações humanas.

No Brasil, a energia elétrica é majoritariamente produzida através da fonte hídrica, o que apresenta vantagens como baixos custos e o aproveitamento da sinergia de diferentes bacias hidrográficas. Em períodos de escassez hídrica, a água armazenada em reservatórios é usada para garantir a geração de eletricidade (D. HUNT; A. V. FREITAS, 2016). Contudo, o país enfrenta desafios devido à imprevisibilidade dessa geração, sua vulnerabilidade às mudanças climáticas e os diversos usos da água.

Para contornar essas limitações e maximizar a produção de eletricidade, tem-se buscado o aproveitamento dos recursos hídricos por meio da implementação de usinas hidrelétricas em cascata. Esse arranjo possibilita uma melhor distribuição da energia gerada ao longo da bacia hidrográfica, otimizando o uso dos recursos disponíveis. Contudo, a gestão adequada dos níveis dos reservatórios e a sincronização das usinas hidrelétricas em cascata são desafios cruciais para alcançar uma produção de energia mais sustentável e eficiente.

Diante disto, o presente trabalho tem por objetivo em introduzir as perspectivas das principais fontes de geração no Brasil, e aprofundar os conhecimentos sobre a geração

hídrica. Para isso são elucidadas as principais atribuições da geração hidrelétrica no SEB, também serão realizadas as caracterizações relacionadas as UHEs. Em conclusão, além de contribuir para uma matriz energética mais sustentável, as UHEs possuem papel fundamental na robustez do SEB, fato que define o SEB como um exemplo para o mundo.

## 2 | MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

A matriz elétrica brasileira é considerada como referência mundial no uso de energias renováveis para a geração de energia elétrica (ASLAM et al., 2021). De acordo com os dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a matriz elétrica brasileira é ainda mais renovável do que a energética como um todo, considerando que a maior parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de UHEs. Vale destacar novamente que a energia eólica e a solar têm avançado rapidamente, contribuindo para elevar esse percentual. A Figura 1, ilustra a comparação da matriz de energia elétrica no Brasil e no mundo.

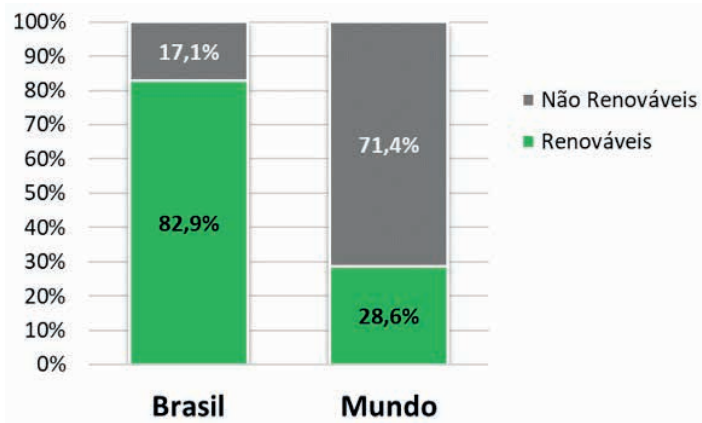


Figura 1 - Comparação da matriz de energia elétrica no Brasil e no mundo.

Fonte: (EPE, 2023)

Segundo o levantamento da EPE, a matriz elétrica brasileira é baseada 82,9% em fontes renováveis, enquanto a média mundial é de apenas 28,6%, uma desigualdade que mostra o quanto a geração é muito mais limpa no país em relação ao resto do planeta (EPE, 2022). Além disso, as perspectivas de expansão das energias renováveis na matriz elétrica brasileira são ainda mais promissoras, o que trará maior sustentabilidade ao SEB.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, até março de 2023, foi registrado que 23,4 mil unidades geradoras ofereciam juntas uma potência fiscalizada de 190,79 GW. Deste total, 103,2 GW (53,58%) eram de UHEs de grande porte, 46,15 GW (24,70%) de termelétricas e 24,92 GW (13,12%) de usinas eólicas. Além disso, segundo a ANEEL, 83,44% da geração de energia do país é considerada renovável, o que demonstra o compromisso do Brasil com a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente (ANEEL,

2023b).

A contextualização da matriz elétrica brasileira é importante para entender a situação atual dos recursos energéticos utilizados no país. Para isso são apresentados dados por fontes, caracterizando-as em relação a sua disponibilidade, seus custos e sua vida útil das usinas elétricas. A capacidade instalada de geração de energia elétrica, pode ser vista na Figura 2, com base nos dados do sistema em números do ONS.

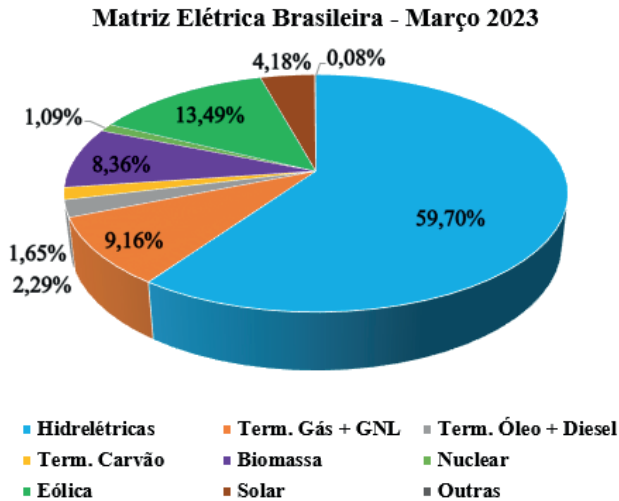


Figura 2 – Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica  
Fonte: Adaptado de (ONS, 2022).

Com os dados da Figura 2, destaca-se a predominância das UHEs, seguidas das termelétricas. Dentre as fontes térmicas, tem-se fontes renováveis, como a biomassa, e não renováveis, como o gás e os derivados do petróleo. A participação de usinas térmicas, além da disponibilidade de fonte primária, é importante na operação do Sistema Integrado Nacional (SIN), pois as termelétricas utilizam máquinas elétricas rotativas em regime permanente para gerar energia elétrica, estratégia fundamental para o controle da tensão e da frequência gerada e, consequentemente, da estabilidade elétrica de todo o SIN. Essas questões justificam sua utilização com esse montante, somando-se a outras variáveis que compõem o planejamento energético integrado brasileiro (SILVA; DISET, 2020).

A energia eólica *onshore*, que consiste em usinas com aerogeradores localizados no continente e não em plataformas marítimas, é atualmente a terceira maior fonte de capacidade instalada no Brasil. O país possui um enorme potencial eólico, que deve se tornar ainda mais significativo nos próximos anos. No entanto, a energia eólica é considerada uma fonte intermitente, com uma despachabilidade reduzida em comparação com as UHEs e termelétricas. Por isso, a sua integração na conversão em energia elétrica e no SIN exige um maior esforço para o controle de estabilidade, além de uma operação

mais dinâmica do sistema elétrico (SILVA; DISET, 2020).

Com base na participação de cada fonte na matriz elétrica brasileira, apresentam-se, a seguir, as características individuais de cada uma.

## 2.1 Termelétricas

As usinas termelétricas são as instalações onde ocorre a geração da energia termoelétrica por meio por meio de diferentes combustíveis: gás natural, biomassa, carvão mineral, nuclear, óleo combustível entre outros. A definição do combustível para geração, especialmente para usinas de grande porte, está relacionada ao atendimento de critérios técnicos, econômicos, logísticos, ambientais e, em alguns casos, de políticas energéticas.

A inclusão de usinas termelétricas no *mix* de fontes de energia elétrica do SIN é considerada um elemento estratégico importante para o SEB. Como as fontes hídricas desempenham um papel fundamental na produção de energia elétrica no Brasil, as usinas termelétricas são utilizadas em momentos de escassez de recursos hídricos. Além disso, com o aumento da participação de fontes renováveis de energia no SIN, como a eólica e a solar, as usinas termelétricas podem desempenhar um papel importante na estabilização da variação de geração dessas fontes em curto prazo (EPE, 2023).

No Brasil, as fontes de energia térmica utilizadas na produção de eletricidade são consideradas como fontes complementares às demais fontes de energia disponíveis. Dessa forma, os principais combustíveis térmicos utilizados são classificados como sendo de origem renovável, como a biomassa, e não renovável, como o gás natural, os derivados do petróleo, o carvão mineral e o urânio. Entre esses combustíveis, o gás natural e a biomassa são os mais promissores, com potencial de crescimento nos próximos anos e incentivos para sua expansão. Por outro lado, a ampliação do uso de combustíveis derivados do petróleo e do carvão mineral é desestimulada devido à sua alta poluição ambiental. Além disso, a energia nuclear gerada a partir do urânio enfrenta problemas relacionados ao alto risco de exposição à radioatividade desse combustível (HAMMERSCHMITT et al., 2023).

## 2.2 Eólicas

A energia eólica é gerada a partir do movimento do ar (ventos) que gera energia cinética e é capturada por meio de turbinas dos aerogeradores. Essa energia é convertida em eletricidade, fornecendo uma fonte de energia limpa que reduz as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) causados pela queima de combustíveis fósseis. Atualmente, juntamente com a energia solar fotovoltaica, a tecnologia eólica lidera a expansão das fontes de energia renovável na geração de eletricidade em todo o mundo.

Nos últimos anos, houve uma crescente busca global por energias alternativas, limpas e renováveis. Isso se deve à necessidade de reduzir as emissões de GEE, diminuir

a dependência de combustíveis fósseis e diversificar as fontes de energia. A energia eólica tem se destacado nesse contexto devido ao seu baixo impacto ambiental e à rápida implementação de aerogeradores (ARRAIS et al., 2015). Com o avanço e expansão recentes da energia eólica no mundo, juntamente com os incentivos estabelecidos pela legislação brasileira, a energia gerada a partir do vento desempenhará um papel significativo na matriz elétrica do Brasil, especialmente no subsistema nordeste, devido ao enorme potencial eólico da região (L NASCIMENTO; MARANGON LIMA, 2008).

De acordo com informações obtidas do ONS, a energia eólica atualmente representa 12,9% da matriz elétrica brasileira. A previsão é que até 2028, o Brasil terá 44,78 GW de capacidade instalada de energia, representando cerca de 24,3% da matriz elétrica brasileira, sendo que os principais parques estão localizados na região Nordeste do país (ONS, 2023).

## 2.3 Solares

As usinas solares são sistemas fotovoltaicos de grande porte projetados para a produção e comercialização de energia elétrica, através do processo de conversão da energia pela irradiação solar. No Brasil, a energia de centrais fotovoltaicas e outras usinas elétricas são injetadas e distribuídas pelas regiões do país por meio do SIN e da geração distribuída.

O Brasil tem um grande potencial para fornecimento de energia solar e tem passado por importantes mudanças regulatórias nos últimos anos. Essas mudanças têm como objetivo incentivar e promover a adoção de sistemas descentralizados de energia, como micro e mini arranjos solares, além de tecnologias relacionadas a redes inteligentes. Além disso, a energia solar é uma fonte de energia de base, assim como a energia hidrelétrica e eólica. Promover a expansão de sistemas fotovoltaicos pode diversificar a oferta de eletricidade renovável e aumentar a segurança energética do país (STILPEN; CHENG, 2015).

A participação da energia solar na matriz elétrica é de 5%, apresentando um crescimento de 63% nos últimos doze meses, contados a partir de março de 2023. A energia solar centralizada, que é gerada por grandes usinas, corresponde a 2%, enquanto a energia solar distribuída, produzida por pequenas centrais de geração, é responsável por 3% da matriz. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), nos últimos três anos, o crescimento da energia solar centralizada foi de 200%, enquanto a solar distribuída passou de 2.000%. Adicionalmente, em 2020, a capacidade instalada em energia solar fotovoltaica cresceu 66% no país (GOV, 2022).

## 2.4 Hidrelétricas

A hidreletricidade tem sido a principal fonte de geração do SEB por várias décadas, tanto pela sua competitividade econômica quanto pela abundância deste recurso energético a nível nacional. Trata-se de uma tecnologia madura e confiável que, no atual contexto de maior preocupação com as emissões de GEE, apresenta a vantagem adicional de ser uma fonte renovável de geração (TOLMASQUIM, 2016). Em suma, as UHEs são fontes de energia limpa e renovável que desempenham um papel fundamental na matriz energética do planeta, onde destaca-se a importância e a dominância das hidrelétricas na matriz elétrica brasileira, a qual têm um papel crucial na geração de energia no país e do manutenção da operação do SIN.

### 2.4.1 Hidrelétricas Predominantes no Brasil

A energia hidrelétrica tem desempenhado um papel central na produção de eletricidade no Brasil por muitos anos, tanto devido à sua viabilidade econômica quanto à abundância deste valioso recurso energético em todo o território nacional. O Brasil dispõe de um sistema gerador com um diversificado *mix* de energia, e com predominância hidrelétrica (ANEEL, 2023b). Essa predominância decorre da extensa superfície territorial do país, com muitos planaltos e rios caudalosos. O potencial hidrelétrico brasileiro é estimado em 176 GW, considerando o potencial inventariado. Contudo, aproximadamente 70% do potencial ainda não aproveitado está localizado nas bacias hidrográficas Amazônica e Tocantins – Araguaia (EPE; MME, 2020).

Os principais reservatórios de água usados para a geração de energia hidrelétrica no Brasil estão localizados na bacia do rio Paraná. Contudo, a maior concentração de UHEs são encontradas nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste. A região Sudeste é responsável por cerca de 70% da capacidade total de armazenamento de energia. Os maiores reservatórios hidrelétricos estão situados próximos às regiões com maior demanda por energia. Quando completamente cheios, esses reservatórios podem fornecer energia suficiente para atender às necessidades energéticas por até cinco meses. No entanto, esse período é significativamente menor do que o observado na década de 1970, quando a capacidade máxima de armazenamento dos reservatórios poderia atender às demandas por três ou quatro anos (DIAS et al., 2018).

No Brasil, a principal e maior UHE é a Itaipu, que está situada no rio Paraná. Seguido da usina de Belo Monte, que é a terceira maior do mundo, com capacidade de 11.233 MW, ficando atrás apenas da Itaipu (com 14.000 MW) e da Três Gargantas, na China, que é a maior do mundo, com capacidade de 22.500 MW (DIAS et al., 2018).

No ano de 2015, a barragem de Itaipu produziu uma quantidade de energia elétrica de 89,2 TWh, o que é superior à produção da barragem de Três Gargantas. Essa produção foi responsável por fornecer 17% da energia elétrica consumida pelo Brasil e mais de 75%

da energia elétrica consumida pelo Paraguai. Seguindo nesta mesma linha de raciocínio, em relação às UHEs no Brasil, como Xingó e Tucuruí, embora sejam menores em termos de capacidade de geração de energia em comparação com a grandiosidade de Itaipu e Três Gargantas, elas continuam sendo empreendimentos de considerável importância. A Usina de Tucuruí, por exemplo, com sua capacidade de 4.240 MW, figura como uma das maiores do Brasil e desempenha um papel fundamental na geração de energia para a região em que está localizada. Xingó, com 3.000 MW, também é uma usina de grande porte, contribuindo de maneira significativa para o suprimento de eletricidade (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2016).

#### *2.4.2 Diferença entre UHE, PCH, CGH*

A ANEEL adota três classificações para hidrelétricas: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) (com até 1 MW de potência instalada), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) (entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada) e as UHEs (usinas com mais de 30 MW).

As PCHs são hidrelétricas com tamanho e potência limitados, situados entre 5 e 30 MW de potência e menos de 13 km<sup>2</sup> de área de reservatório. Apesar de seu nome não tão atraente, as PCHs representam atualmente cerca de 3,5% da capacidade total instalada do SIN (ABRAPCH, 2023).

As CGHs também utilizam o potencial hidráulico para gerar energia, mas se diferenciam das PCHs por serem ainda menores, tanto em tamanho quanto em potência. Conforme estabelecido pela ANEEL, esses empreendimentos podem ter capacidade entre 0 e 5 MW. (ABRAPCH, 2023). Segundo o banco de dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA), até novembro de 2023, estavam em operação 689 CGHs em todo o Brasil, representando uma potência instalada de 869 MW (ANEEL, 2023a).

As UHEs de grande porte, com capacidade instalada de mais de 30 MW, são caracterizadas por possuírem grandes reservatórios, característica que lhes possibilitam operar por algum tempo em período de estiagem. O país tem 219 UHEs de grande porte em operação, das quais, se destacam três principais, sendo elas, UHE de Itaipu (Paraná), UHE de Belo Monte (Pará), e UHE São Luíz do Tapajós (Pará). Destaca-se que a UHE de Itaipu é considerada a maior geradora de energia limpa do planeta, tendo produzido mais de 2,9 milhões de GWh desde o início de sua operação.

De fato, a geração hídrica apresenta a vantagem de ser uma fonte renovável, com baixo custo, além de possuir grande flexibilidade operativa, capaz de reservar energia e de responder prontamente às variações de demanda em horários de pico. Os projetos hidrelétricos se adaptam às características físicas dos locais, utilizando quedas d'água de diversas alturas e diferentes vazões, em centrais geradoras de pequeno porte, como no caso das CGHs e PCHs, ou em UHEs de grande porte, com reservatórios de acumulação

ou à fio d'água (TOLMASQUIM, 2016).

### *2.4.3 Diferença entre usinas com reservatório e fio d'água*

Em se tratando dos tipos de reservatórios existem duas classificações, os de acumulação e os a fio d'água. Os de acumulação normalmente são formados nas cabeceiras dos rios, em locais que ocorrem altas quedas d'água e consistem em reservatórios com grande acúmulo de água. Já os reservatórios a fio d'água aproveitam a velocidade das águas do rio para gerar eletricidade, assim geram o mínimo ou nenhum acúmulo de água.

Usinas com reservatório de acumulação caracterizam-se pela sua capacidade de armazenar grandes quantidades de água, o que permite mitigar a variabilidade hidrológica sazonal e, dependendo das dimensões dos reservatórios, mitigar o impacto de um período de estiagem severa. A água armazenada em períodos de hidrologia favorável pode ser utilizada para garantir a geração nos meses ou anos mais secos (TOLMASQUIM, 2016). Para operar reservatórios de forma eficiente, é importante otimizar as liberações ou o volume de armazenamento, com o objetivo de atingir metas específicas, tais como maximizar a geração de energia, minimizar o déficit hídrico, reduzir o risco de inundações e diminuir os custos de operação (RIBEIRO et al., 2020).

Usinas a fio d'água produzem energia elétrica em função quase exclusivamente das vazões que chegam aos seus reservatórios. Podem apresentar pequena capacidade de armazenamento, permitindo alguma flexibilidade operativa ao longo do dia, como a necessária para acompanhar a variação horária de carga (TOLMASQUIM, 2016).

As hidrelétricas a fio d'água são reconhecidas por serem mais sustentáveis do ponto de vista ambiental quando comparadas às hidrelétricas de reservatório, uma vez que a quantidade limitada de água armazenada resulta em um impacto ambiental menor. Apesar disso, em termos de gerenciamento da rede e operação individual da usina, essas usinas apresentam uma série de desafios operacionais próprios. Grande parte desses desafios derivam do fato de que há pouca ou nenhuma reserva de água nas hidrelétricas a fio d'água. Consequentemente, a geração de energia deve ser ajustada em tempo real para corresponder às variações da vazão de água. Qualquer variação repentina na geração de energia, seja ela um aumento ou uma diminuição, acarreta diversos obstáculos para os operadores do sistema de energia (ROY et al., 2022).

Uma observação a ser feita é de que a UHE de Itaipu é considerada uma usina a fio d'água. Embora possua reservatório e apresente uma vasta área de alagado, que compreende uma área de cerca de 1.350 km<sup>2</sup>, seu reservatório possui pequeno volume ao ser comparado com a vazão natural do rio que o abastece, caracterizando-a como uma UHE a fio d'água (ITAIPU BINACIONAL, 2023).

Assim sendo, ambos os tipos de usinas têm vantagens e desvantagens, e a escolha entre uma usina com reservatório ou a fio d'água depende de diversos fatores, como a



disponibilidade de água, as condições topográficas, o impacto ambiental e os requisitos de geração de energia elétrica.

#### 2.4.4 Usinas em Cascata

Um sistema é conhecido como sistema hidrelétrico em cascata, quando duas ou mais UHEs são implementadas em série, de modo que a vazão de escoamento de uma UHE é usada como entrada da próxima UHE (BOU-FAKHREDDINE et al., 2016). É possível construir UHEs em cascata, em um mesmo rio, nesse caso, as usinas que possuem reservatórios de acumulação são geralmente localizadas na parte superior do rio, enquanto as usinas a fio d'água ficam mais abaixo. Nessa configuração, as usinas com reservatórios de acumulação têm uma capacidade de produção de energia menor em comparação às usinas a fio d'água, devido ao uso mais intenso de seus reservatórios para maximizar o ganho de energia ao longo da cascata (TOLMASQUIM, 2016).

As configurações das UHEs em cascata envolvem um uso avançado dos recursos hídricos, permitindo a exploração eficiente do potencial energético da região, resultando em um funcionamento mais econômico. Além disso, um sistema hidrelétrico com reservatório e com configuração em cascata garante a regularização de todas as UHEs a jusante, o que aumenta os parâmetros energéticos, assim como a disponibilidade de água para os consumidores no trecho a jusante do rio. O gerenciamento efetivo de um sistema em cascata seria impossível sem considerar os fatores específicos de seu trabalho. Os estágios do sistema em cascata podem estar interligados hidrologicamente, por meio do consumo de água, e eletricamente (MITROFANOV et al., 2022).

Em resumo, a configuração de um sistema de UHEs em cascata tem como principal atributo a maximização do potencial hidráulico para a geração de energia. Embora essas usinas tenham benefícios em termos de eficiência energética, elas também podem ter impactos negativos no meio ambiente.

### 3 | CONCLUSÃO

Diante da necessidade de mitigação dos GEE, o SEB se mostra como referência mundial no uso sustentável dos recursos energéticos para a geração de energia. O SEB apresenta uma matriz elétrica com diferente *mix* de fontes de energia, onde há predominância das UHEs para produção de eletricidade. No entanto, a produção de energia elétrica em hidrelétricas é um processo complexo e altamente dependente do nível do reservatório, que por sua vez é afetado por fatores naturais e atividades humanas.

Desta forma, este estudo teve como princípios em esclarecer as perspectivas das principais fontes da matriz elétrica brasileira, e suas atribuições frente ao atendimento da demanda do SIN. Devido a predominância da geração hídrica no SEB, foram expostas as principais definições sobre as hidrelétricas, no que diz respeito ao potencial hidrológico,

diferentes tipos de hidrelétricas, definições de usinas com e sem reservatório (fio d'água), e a operação em cascata de sistemas hidrelétricos.

Embora as hidrelétricas enfrentem uma série de desafios para sua instalação e operação, sua soberania na matriz elétrica brasileira associada as demais fontes de energia renováveis, justifica o fato de o SEB ser referência no uso sustentável dos recursos energéticos para geração de energia elétrica. Em conclusão, este estudo tem como fundamentação em servir de base teórica para trabalhos acadêmicos acerca da geração hídrica e no uso de recursos energéticos renováveis.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio técnico e financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS, e Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Instituições Brasileiras.

## REFERÊNCIAS

ABRAPCH. **Associação Brasileira de PCH's e CGH's**. Disponível em: <<https://abrapch.org.br/o-setor/o-que-sao-pchs-e-cghs/>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

ANEEL. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA)**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJoiNjc4OGYyYjQtYWWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCl6ljQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>>. Acesso em: 10 nov. 2023a.

ANEEL. **Brasil ultrapassa os 190 GW em capacidade de geração de energia elétrica**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/brasil-ultrapassa-os-190-gw-em-capacidade-de-geracao-de-energia-eletrica#:~:text=Uma%20expans%C3%A3o%20de%202%C04,capacidade%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o%20este%20ano.>>. Acesso em: 8 mar. 2023b.

ARRAIS, E. et al. **STRATEGY CONTROL CONVERTER TO ENHANCE THE PERFORMANCE IN THE GRID-CONNECTED PMSG WIND POWER GENERATION SYSTEM**. IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC) Fortaleza, Brazil IEEE, , 2015.

ASLAM, S. et al. **A Survey On Deep Learning Methods For Power Load And Renewable Energy Forecasting in Smart Microgrids**. Renewable and Sustainable Energy Reviews Elsevier Ltd, , 1 jul. 2021.

BOU-FAKHREDDINE, B. et al. **Short-term hydro generation scheduling of cascade plants operating on Litani River project-Lebanon**. 2016 3rd International Conference on Renewable Energies for Developing Countries, REDEC 2016. Anais... Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 26 set. 2016

D. HUNT, J.; A. V. FREITAS, M. **USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS SAZONAIS E SEUS BENEFÍCIOS PARA O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**. Disponível em: <<https://www.projetouhr.com.br/asel/CIEEMAT2016-UHRS.pdf>>. Acesso em: 6 out. 2023.

DIAS, V. DE S. et al. **An Overview of Hydropower Reservoirs in Brazil: Current Situation, Future Perspectives and Impacts of Climate Change**. Water (Switzerland) MDPI AG, , 3 maio 2018.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 6 out. 2023.

EPE. **Expansão da Geração**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>>. Acesso em: 2 abr. 2023.

EPE; MME. **PNE 2050 - PLANO NACIONAL DE ENERGIA**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em: 27 abr. 2023.

GOV. **Energia Renovável Chega a Quase 50% da Matriz Elétrica Brasileira**. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira-1#:~:text=Energia%20renov%C3%A1vel%20chega%20a%20quase%2050%25%20da%20matriz%20energ%C3%A9tica%20brasileira,-Estudo%20indica%20que&text=Quase%20metade%20da%20energia%20energ%C3%A9tica,Minist%C3%A9rio%20de%20Minas%20e%20Energia.>>. Acesso em: 4 jul. 2023.

GOV. **Itaipu Em numeros**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 4 abr. 2023.

HAMMERSCHMITT, B. K. et al. Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica. **PANORAMA DAS FONTES TÉRMICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**, p. 156–170, 2023. D.O.I.:<https://doi.org/10.22533/at.ed.465231601>

ITAIPU BINACIONAL. **Itaipu Binacional**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/>>. Acesso em: 29 out. 2023.

L NASCIMENTO, M. H.; MARANGON LIMA, J. W. **The Impact of Wind Power Stations in the Brazilian Electricity Markets**. 2005 IEEE Rússia Power Tech St. Petersburg, Russia, 2008.

MITROFANOV, S. et al. **Aggregation of Water-Energy Blocks of the Hydroelectric Power Plants Cascade Simulation Model**. 2022 IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences, SIBIRCON 2022. **Anais...** Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022

ONS. **O Sistema em Números**. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

RIBEIRO, F. DE S. L. et al. **Operação ótima do reservatório da usina hidrelétrica de Jirau usando otimização não linear**. 2nd International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering (ICECCE). **Anais...** Istabnul, Turkey: 12 jun. 2020

ROY, N. et al. **Operational and Economic challenges due to Run-of-River (RoR) Hydro and ways to address the challenges**. 4th International Conference on Energy, Power, and Environment, ICEPE 2022. **Anais...** Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022

SILVA, R. D. DE S.; DISET. **CONTEXTUALIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO E O PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA NO LONGO PRAZO**. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: 7 ago. 2023.

STILPEN, D. V. DE S.; CHENG, V. **Proceedings of 2015 IEEE International Renewable and Sustainable Energy Conference : (IRSEC'15)**. Solar fotovoltaica no Brasil: um promissor mercado de energia renovável. **Anais...** Marrakech, Marrocos: 10 dez. 2015

THÉRY, H.; MELLO-THÉRY, N. A. DE. O sistema elétrico brasileiro. **Confins : Revue Franco-Brésilienne de Géographie = Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 26, 19 fev. 2016. D.O.I.:10.4000/confins.10797

TOLMASQUIM, M. T. Energia Renovável. Em: EPE (Ed.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2023.

# VEÍCULOS ELÉTRICOS EM REDES DE BAIXA TENSÃO – IMPACTOS NA QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

---

*Data de aceite: 02/01/2024*

**Ferreira A.G.L**

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,  
CE 60455-760

**Aguar V.P.B.**

Universidade Federal Rural do Semi-  
Árido, Mossoró, RN 59625-900

**Correia. W. B.**

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,  
CE 60455-760

**Pontes R.S.T.**

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,  
CE 60455-760  
Universidade de Fortaleza, Fortaleza, CE  
60811-905

**RESUMO:** Um dos principais desafios do desenvolvimento sustentável são as alterações climáticas globais, provenientes do intenso consumo de derivados do petróleo e do carvão. A transição em direção a um mundo livre das emissões de carbono será um desafio para esta e para as futuras gerações. O setor de energia elétrica, devido suas fontes renováveis de geração de energia, como a fotovoltaica (FV) e a eólica, torna-se um dos principais agentes na descarbonização da economia global.

Neste contexto, os veículos elétricos (VE) ganham grande importância, na medida em que o setor dos transportes atualmente é responsável pela emissão de cerca de um quarto do total das emissões de gases com efeito de estufa, portanto, os VE's podem ser vistos como sendo uma potencial solução. Este artigo busca analisar, por meio de uma simulação no *software* OpenDSS, os veículos elétricos plug-ins conectados em redes de baixa tensão, tendo como objetivo identificar o modo como estes podem influenciar em diferentes aspectos nas redes de distribuição, principalmente quanto a queda de tensão, perdas ativas e sobrecarga no transformador, através dos diferentes modos de carregamento (lento, intermediário e rápido), de modo que poderá ser visto que houve influência na piora dos níveis de qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Níveis de qualidade; Veículos elétricos; Rede de Baixa tensão; Geração distribuída; Qualidades do serviço e produto.

**ABSTRACT:** One of the main challenges of sustainable development is global climate change, resulting from the intense consumption of oil and coal derivatives. The transition towards a carbon-free world will

be a challenge for this and future generations. The electric energy sector, due to its renewable sources of energy generation, such as photovoltaic (PV) and wind, becomes one of the main agents in the decarbonization of the global economy. In this context, electric vehicles (EV) gain great importance, as the transport sector is currently responsible for the emission of about a quarter of the total emissions of greenhouse gases, therefore, EVs can be seen as being a potential solution. This paper seeks to analyze, through a simulation in the OpenDSS software, plug-in electric vehicles connected in low voltage networks, aiming to identify how they can influence different aspects in the distribution networks, especially regarding voltage drop, active losses and overload in the transformer, through the different charging modes (slow, intermediate and fast), so that it can be seen that there was an influence on the worsening of the quality levels.

**KEYWORDS:** Quality levels; Electric vehicles; Low voltage grid; Distributed generation; Qualities of service and product.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o tema sustentabilidade vem ganhando notória relevância em todos os setores sociais e econômicos no mundo, de modo que diversos países e empresas vem fazendo elevados investimentos em áreas relacionadas ao assunto, que vem desde a conquista de “selos de excelência”, até a implementação em larga escala de fontes de energias renováveis, seja por meio de incentivos fiscais ou mudanças nas legislações vigentes, porém o grande foco desde o começo do século são os veículos movidos por eletricidade. A constante busca pelo desenvolvimento sustentável encontrou nos veículos elétricos a melhor causa para a diminuição das consequências geradas por motores a combustão, por meio de sua alta eficiência, baixa emissão local de poluentes e custo operacional baixo, segundo Su et al. (2012) e desse modo, fomentar nações a investirem em energias alternativas no intuito de melhorar sua respectiva pegada de carbono, pois irá gerar energia limpa. Entretanto, a rápida integração de tais transportes vem necessitando de estudos nas mais diversas áreas, desde novas tecnologias para o armazenamento de energia até o impacto e comportamento destas novas cargas que se caracterizam pela imprevisibilidade tanto temporal como espacial, pois o seu carregamento é em níveis de corrente, horários e locais diferentes, apresentando assim vários cenários a serem analisados.

A partir deste ponto, o objetivo atualmente das distribuidoras é buscar entender como esses veículos irão influenciar em aspectos positivos ou negativos, primeiramente nas redes de baixa tensão, e deste modo fazer o tratamento de dados relacionados à qualidade de energia em função de obter características, secundamente trarão novas perspectivas para as concessionárias em questão de realizar mudanças mitigando os impactos negativos, além de utilizar essa tecnologia em benefício tanto para si própria como para o consumidor, através de análises e estudos de caso.

Com o objetivo de realizar simulações de operação dos centros de recarga, e sistemas de armazenamento na rede de distribuição de baixa tensão, tendo como intuito entender as consequências que serão geradas, foi utilizado um *software* de programação com ênfase em sistemas de distribuição chamado OpenDSS, operando com dados reais da rede, e montagens de cenários.

## 2 | VEÍCULOS ELÉTRICOS

### 2.1 Conceito dos VEs

Segundo Hussain (2003) no começo do século XX os veículos movidos a vapor e a eletricidade eram mais vendidos que os movidos por motores de combustão interna (MCI), o cenário foi se alterando durante os anos com a presença dos veículos movidos a MCI que dominaram a indústria automobilística no século XX. Uma nova alternância, neste domínio, está sendo presenciado nos dias atuais com a inserção de veículos híbridos, movidos tanto a combustão como a eletricidade, e os veículos puramente elétricos, pois desde a crescente “onda” de sustentabilidade na década de 1990, estes tipos de automóveis voltaram a ganhar importância e variados estudos foram e estão sendo feitos para que estes possam ser socioeconomicamente viáveis, tanto no que visa o fator econômico voltado ao preço de seus componentes, como as baterias e a eletrônica de potência, até o fator social, determinado de como a sociedade irá interagir com um novo tipo de infraestrutura como aborda, Kempton e Tomic (2005), entre outros atores, que fazem análises desde os aspectos construtivos dos carros (sistemas de armazenamento, motor e eletrônica de potência), até a conexão destes nas redes visando às características de carregamento e o comportamento destas cargas nas redes de distribuição.

Entretanto, é necessário ressaltar que existem variações nas configurações destes veículos, como pode ser observada na figura 1 (Castro; Ferreira, 2010). Sendo o veículo puramente elétrico a base deste estudo.

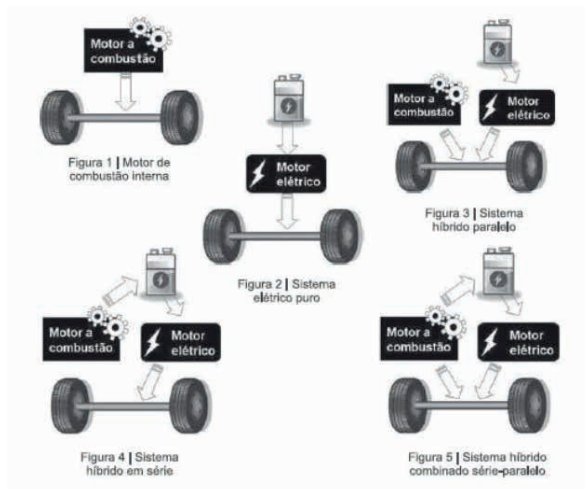


Fig. 1 Tipos de veículos elétricos.

No veículo puramente elétrico todo o seu sistema de tração é feito unicamente por um motor elétrico, logo esse modelo é dotado de um sistema de armazenamento de energia, que precisa ser recarregado. Por possuir apenas o sistema de tração elétrica necessita de períodos de recarga mais curtos e, dependendo da sua utilização, com maiores níveis de potência para a recarga.

## 2.2 Sistema de armazenamento

O sistema de armazenamento de um carro elétrico é definido como um conjunto de baterias (*packs*), sendo que estas são conjuntos de pilhas que poderão estar conectadas em série, caso se deseje uma maior tensão, ou em paralelo, aumentando a sua capacidade nominal de carga, sendo assim buscando os níveis de corrente e tensão adequados para a operação na qual for atribuída.

Fabricantes ao redor do mundo pesquisam e desenvolvem baterias, em que essas características possam ser elevadas, ou seja, maior potência, de modo que o volume e o preço não aumentem substancialmente, consequentemente ocorrendo à melhoria da sua autonomia e do seu rendimento. Logo, o sistema de armazenamento torna-se o maior desafio para que se tenha uma maior evolução e um menor custo para os VE's.

Dois tipos de baterias são conhecidos, as primárias ou não recarregáveis e as secundárias que permitem a recarga. As baterias secundárias serão as abordadas neste trabalho, pois são estas as utilizadas nos veículos elétricos, e assim se caracterizam desde que sejam capazes de suportar mais de 300 ciclos completos de carga e descarga com 80% da sua capacidade.

As baterias de íon lítio foram responsáveis por substituir as baterias de chumbo



ácido e níquel, pois estas, mesmo baratas, não possuíam energia específica e potência específica para utilização em grande escala, em aparelhos como celulares e *notebooks*. Desenvolvidas no início da década de 1970, devido as suas características reativas com outros materiais, elas foram categorizadas como perigosas, entretanto com o avanço dos estudos, foi possibilitado um melhor funcionamento, atualmente estas baterias estão presentes em todos os *notebooks* e celulares. Outra aplicação que será vista neste trabalho se refere a sua capacidade de armazenar e fornecer energia para a rede de distribuição em certos casos.

O sistema de gerenciamento de baterias (BMS - *Battery Management System*) torna-se um importante elemento capaz de monitorar de que modo a bateria está sendo utilizada em seu processo de descarga, realizando o controle no processo de carga por meio da medição e estimativa dos parâmetros da bateria. Esse aparelho é fundamental como agregador de dados, pois estes serão utilizados na central de recarga ou por uma *smart grid* para determinar os níveis de operação de recarga a qual o veículo será submetido.

### 2.3 Centrais de recarga e eletrônica de potência

Atualmente há uma vasta gama de carregadores, podendo ir de aparelhos residenciais, até aos que podem oferecer até três recargas de diferentes níveis (lenta, média ou rápida), chegando aos mais avançados que ainda estão em desenvolvimento, como o caso do carregador indutivo ou *wireless*, que não necessitará de uma conexão direta entre a rede de distribuição de energia elétrica e o VE, as variações dessas tecnologias podem ser vistas na figura 2 (Rodrigues et al. 2014). Porém, os dois principais ramos que agrupam essas tecnologias são as embarcadas ou as externas.

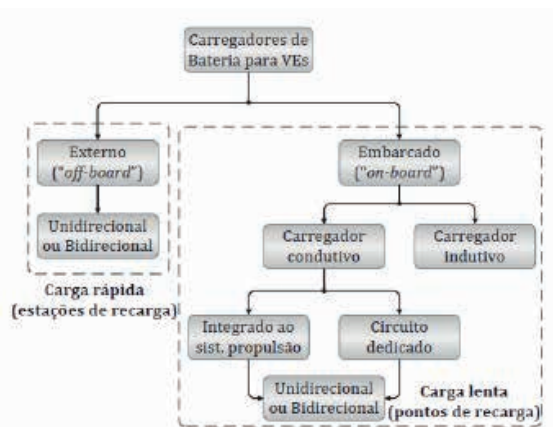


Fig. 2 Classificação dos carregadores de baterias atualmente utilizados em VEs.

A eletrônica de potência de um carregador de bateria é baseada em um circuito

eletrônico, compostos por um conversor CA-CC, conversor CC-CC e filtro para eliminação de distorções harmônicas segundo Arrabaça (2016). O carregador pode ser tanto monofásico, mais comum na tecnologia embarcada em corrente alternada (CA), como pode ser trifásico, comum no carregamento externo em corrente contínua (CC).

Segundo Rodrigues (2014), carregadores embarcados são associados à recarga noturna, pois esses possuem um nível menor de tensão, de modo que a retificação possa ser feita no próprio sistema do carro, logo as recargas duram mais tempo. Enquanto os do tipo externo são relacionados às estações de recarga rápida, pois devido à elevada tensão e corrente, são necessários retificadores mais potentes, portanto duram menos tempo. Desse modo, o carregador embarcado é aquele em que todo o sistema é levado a bordo do VE, logo o peso e o volume restringem a sua utilização para recargas mais rápidas, como se vê na figura 3 (Rodrigues et al. 2014). Desses tipos de carregadores, a *wallbox* é seu principal representante. Utilizado nas residências para controle de recarga dos veículos elétricos, a instalação da *wallbox* é bem simples, necessitando principalmente, de cuidados com relação a dimensionamento de dispositivos de proteção, como disjuntores, e dos cabos de alimentação.

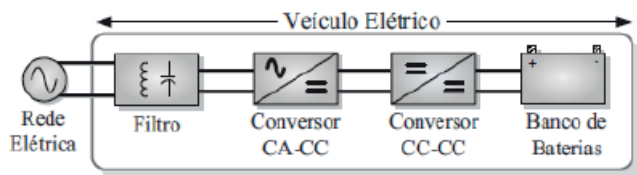


Fig. 3 Carregador de baterias para VEs - diagrama de blocos (circuitos típicos): carregador embarcado.

Em um carregador externo, todo o sistema de recarga será situado fora do VE, e a conexão será feita de modo direto para a bateria já em CC, como esse processo é externo, não há preocupação com o tamanho ou peso dos centros de recarga, logo maiores níveis de potência serão ofertados, como se vê na figura 4 (Rodrigues et al. 2014).

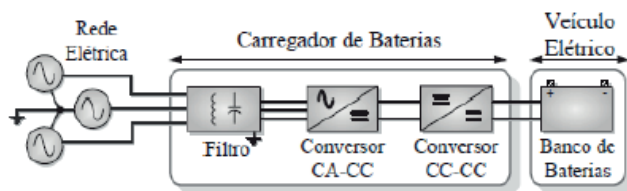


Fig. 4 Carregador de baterias para VEs - diagrama de blocos (Circuitos típicos): carregador externo.

Centros de recarga são equipamentos com eletrônica de potência mais complexa, pois estes são capazes de disponibilizarem potências que vão desde 22 kW até 250 kW, logo são necessários filtros e conversores mais especiais, pois os níveis de tensão, corrente e frequência são mais elevados, de forma que as recargas se tornem semirrápidas

ou rápidas, com durações que podem ir de 3h até 30 minutos.

Os modelos de carregadores terão seus conectores possuindo características semelhantes, desde pinos capazes de monitorar e controlar a entrada de corrente no sistema de armazenamento, até modos capazes de controlar e monitorar subsistemas de redundância, capazes de oferecerem mais segurança para o cliente. Esses modelos não são padronizados, logo possuem diferentes tipos, de acordo com a fabricante.

Conectores e eletrônica de potência que estão sendo evoluídos, para que possam ser utilizados como um sistema bidirecional, ou seja, o sistema de armazenamento alimentar a rede elétrica em ocasiões específicas, conhecido como V2G (*Vehicle to Grid*), ou veículo para a rede, entretanto ainda não possui legislação que viabilize esse modelo.

Assim como os conectores, os métodos de recarga também possuirão padrões de procedimentos, através de normas específicas, que caracterizarão o nível de recarga, sua aplicação, e os níveis de tensão e corrente. Outro fator a ser apontado, como dito anteriormente, é quanto à forma de onda dessa recarga, logo como dito anteriormente para recargas mais lentas a transferência de energia do centro para o carro será em CA, já em recargas mais rápidas essa transferência é feita diretamente em CC. A tabela 1 mostra as normas de regulação, para esses métodos de recarga, (IEC's 61851,62196 e 62752), segundo Hanauer (2018), respectivamente:

Modo de Recarga	Descrição	Máximas correntes e tensões
Modo 1	Conexão condutora entre um padrão de tomada de uma rede de alimentação CA e o VE sem comunicação ou recursos de segurança adicionais	16 A, 250 VCA, 1 Fase 16 A, 480 VCA, 3 fases
Modo 2	Conexão condutora entre um padrão de tomada de uma rede de alimentação CA e o VE sem comunicação e recursos de segurança adicionais	32 A, 250 VCA, 1 Fase 32 A, 480 VCA, 3 fases
Modo 3	Conexão condutora entre um VE e a uma central de recarga em CA com comunicação e recursos de segurança adicionais	1: 32 A, 250 VCA, 1 Fase 2: 70 A, 250 VCA, 1 fase 63 A, 480VCA, 3 fases 3: 16/32 A, 250 VCA, 1 Fase 63 A, 480VCA, 3 fases
Modo 4	Conexão condutora entre um VE e a uma central de recarga em CC com comunicação (de alto nível) e recursos de segurança adicionais	AA: 200 A, 600 VCC BB: 250 A, 600 VCC EE: 200 A, 600 VCC FF: 200 A, 1000 VCC

Tabela 1. Métodos de recarga pelas IEC's 61851,62196 e 62752

## 2.4 Legislação voltada aos VE's e aos centros de recarga

Nos últimos anos o governo vem tentando desenvolver políticas públicas para o crescimento do mercado nacional destes veículos elétricos e híbridos. Visando as metas de redução das emissões de CO<sub>2</sub>, vários incentivos foram criados para fomentar maior adesão, sejam municipais, estaduais ou federais. Ademais, pode ser citado o projeto de

Lei do Senado Brasileiro nº304, de 2017 que diz: “A partir de 1º de janeiro de 2030 estará proibida a venda de veículos novos movidos a combustíveis fósseis no Brasil, e em 2040 nenhum automóvel a gasolina ou diesel poderá circular no país” (BRASIL, 2017).

A principal legislação regulamentadora que foi criada para este novo mundo se refere aos centros de recarga, a Resolução Normativa nº 819/2018, nela se permite que qualquer pessoa que for aprovada seguindo os critérios de cadastro, possa instalar uma central de recarga e cobrar pelo serviço prestado.

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) optou por uma regulamentação mínima do tema, com o objetivo principal de evitar interferências indesejáveis dessas atividades com a operação da rede elétrica e garantir que as tarifas dos consumidores de energia elétrica das distribuidoras não sejam impactadas pela prestação do referido serviço quando realizado pelas distribuidoras de energia elétrica (ANEEL, 2018).

## **3 | SISTEMA DE POTÊNCIA**

### **3.1 Cenário brasileiro**

Os sistemas elétricos de potência (SEP) possuem três subsistemas bem definidos, são eles a geração, a transmissão e a distribuição, que segundo Kagan (2017) “têm a função precípua de fornecer energia elétrica aos usuários, grandes ou pequenos, com a qualidade adequada, no instante em que for solicitada”.

Na matriz energética brasileira as hidrelétricas predominam no cenário de geração de energia, devido ao grande potencial hídrico em território nacional, quase 61% da produção de energia elétrica brasileira advém dessa fonte. Em seguida estão à energia eólica com quase 16 MW instalados, biomassa com aproximadamente 15 MW e em sétimo lugar a solar fotovoltaica em constante crescimento.

A inserção de veículos elétricos no sistema de potência é alvo de estudos, e de desenvolvimento, pois o objetivo principal de pesquisadores é garantir uma maior capacidade de energia nos sistemas de armazenamento, e centros de recarga realizando-a o mais rápido possível, gerando consequências pela crescente demanda.

### **3.2 Qualidade do produto**

A ANEEL criou procedimentos (Módulo 8 do Prodist, 2022) visando à regulação das distribuidoras, com o propósito de estabelecer padrões tanto para a qualidade do produto, como para a qualidade do serviço. Para este artigo os indicadores estudados são referentes à qualidade do produto, ou seja, será analisada a qualidade da rede quanto aos níveis de tensão em regime permanente conforme a tabela 2, de modo que 220 V para monofásico, e 380 V para trifásico irão equivaler a 1 pu (por unidade), logo valores abaixo de 0,92 pu serão considerados precários, e valores abaixo de 0,87 pu, críticos.

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação de Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399) / (202 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(331 \leq TL < 350 \text{ ou } 399 < TL \leq 403) / (191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 223)$
Crítica	$(TL < 331 \text{ ou } TL > 403) / (TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$

Tabela 2. Indicadores de qualidade do produto

### 3.3 Legislação voltada a geração distribuída

Segundo as Resoluções Normativas nº 482 (ANEEL, 2012), e nº 687 (ANEEL, 2015) foram estabelecidos parâmetros básicos para a geração distribuída (GD), desde o acesso a rede de distribuição, sistema de compensação, até os limites nos níveis de fornecimento, logo ficou definido que a micro geração terá como potência instalada valores abaixo de 75 kW, com possibilidade de ser conectada à rede em baixa tensão, e a mini geração com potência instalada acima de 75 kW e menor que 5 MW. Estas resoluções ainda não permitem que o sistema de armazenamento do VE atue como GD para o sistema, exceto que seja pra própria unidade consumidora do usuário.

## 4 | METODOLOGIA

### 4.1 Espaço amostral

Para se criar os cenários de recarga é necessário primeiro entender como funciona a autonomia dos veículos elétricos dentro de um centro urbano, ou em uma capital, que tem como característica o tráfego denso em horários de pico, tanto no começo da manhã, como no início da noite, que irão interferir nos dados que são determinados pelas fabricantes, pois são considerados ambientes ideais, como o vento a favor, temperaturas amenas e o pouco trânsito, ou nada movimentado, sendo este último o tópico principal para criação do escopo.

Segundo dados da CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) do estado de São Paulo, a capital do referido estado apresenta uma velocidade média próxima de 22 km/h.

Outro fator que irá fazer parte do cenário será a distância percorrida por um veículo, logo o seu usuário, percorre durante o ano 12,9 mil km. Portanto, em um ano com 365 dias, em média se percorre 35 km/dia, ou por volta de 250 km/semana.

Um automóvel, com características reais, que possui autonomia de 300 km, com um motor alimentado por um sistema de armazenamento de 60 kW, gera um consumo de 20 kWh/100km, ou seja, 1 kWh será consumido a cada 5 km percorridos. De acordo com os dados acima, tem se que 35km/dia é a distancia efetuada, entretanto, a média de velocidade é de 22 km/h, logo será obtido que um usuário de veículo fica em média uma hora e meia no trânsito a cada dia, desse modo o consumo que seria de 7 kWh/35 km por dia, será em torno de 7 kWh/22 km, portanto para a conclusão do percurso de 35 km seriam

10,5 kW de potência consumida em um dia, devido ao tempo passado no trânsito, e a baixa velocidade, portanto maior consumo.

Logo, a partir dessa relação percebe-se que um veículo que na teoria possui 300 km de autonomia, passaria a ter em torno de 210 km, distância esta percorrida em 6 dias, pois coincide com o descarregamento total da bateria.

Concluindo, em seis dias a bateria do automóvel iria de 100% a 0%, lógico que a intenção não se deve é deixar zerar o sistema de armazenamento, portanto o veículo seria recarregado a cada cinco dias, com um restante de 12,5% de capacidade no momento da recarga, desse modo os cenários serão montados levando em conta quanto tempo, e quanta demanda seria utilizada para o carregamento total, podendo ser recargas lentas, intermediárias, rápidas ou ultrarrápidas.

## 4.2 Modelagem do sistema no OpenDSS

Os dados utilizados foram cedidos pela Enel-CE, contendo um sistema real de um alimentador composto por 444 barras, desde a impedância do sistema reduzido na entrada do transformador, até barras na capilaridade mais externa do sistema, contando assim com mais de 460 consumidores atendidos tanto em monofásico, como trifásico, com características residenciais, e comerciais, com os mais diversos consumos de energia.

Para simplificação da simulação foi adotada uma redução de barras, onde as barras mais capilares dos consumidores foram agrupadas em um número de 71 barras, somando suas cargas, e compactando os trechos, todos eles atendidos em baixa tensão, com tensão trifásica de 380 V. De modo, que os centros de recarga também sejam agrupados nessas barras para as diferentes montagens de cenários.

Logo serão 69 cargas divididas, com valores variados de potência instalada, todos os cenários serão adicionadas as cargas que possuírem 1 kW instalado, o diagrama unifilar está representado na figura 5 (Dados desta pesquisa, 2022).

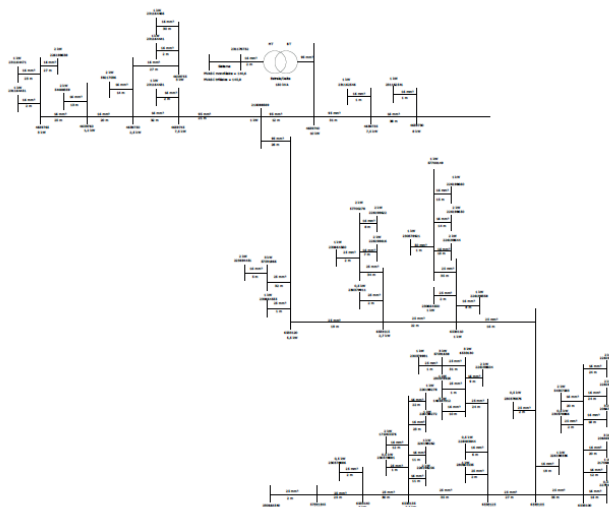


Fig. 5 Diagrama unifilar simplificado da rede em estudo.

O *software* de programação OpenDSS, utiliza componentes e dados de um sistema de distribuição, logo à modelagem de um sistema será baseado nas mesmas características de um sistema real da ENEL-CE.

Nesta simulação todo o sistema elétrico antes da distribuição (geração e transmissão), desde o SIN, até o sistema ENEL-CE, será levado para uma única barra, definido no *software* por um elemento chamado “*Circuit*”, que é o Equivalente de Thévenin para todo o sistema, possuindo assim resistência e reatância de sequência positiva, ou as potências de curto circuito.

As linhas do sistema são as responsáveis por fazer o transporte de energia, a sua disposição entre uma barra de saída e uma de entrada é comumente definida como trecho, no programa ela está modelada como – Pi, para linhas curtas.

A modelagem do transformador poderá ter várias configurações de acordo com a situação para a qual ele esteja sendo utilizado, no caso de um alimentador o padrão é ele possuir a entrada em média tensão em delta, e a saída em estrela em baixa tensão com o neutro disponível, logo para cada enrolamento serão definidas as tensões e a ligação, e para o equipamento como um todo suas perdas.

Para a construção das cargas, primeiramente terá que ser definida a curva de carga do sistema, como pode ser observada na figura 6 (Dados desta pesquisa, 2022), que irá definir por horário qual a demanda que as cargas estão exigindo do sistema, logo na madrugada teremos a curva com valores menores, já no horário de ponta como o começo da noite, esses valores serão maiores devido à entrada de mais cargas.

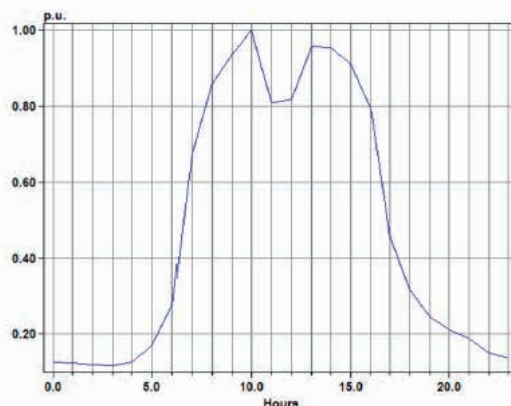


Fig. 6 Curva de carga do sistema analisado.

### 4.3 Estudo de caso

Os dados utilizados foram cedidos pela ENEL-CE, contendo um sistema real de um alimentador composto por 444 barras, desde a impedância do sistema reduzido na entrada do transformador, até barras na capilaridade mais externa do sistema, contando assim com mais de 460 consumidores atendidos tanto em monofásico, como trifásico, com características residenciais, e comerciais, com os mais diversos consumos de energia.

Para simplificação da simulação foi adotada uma redução de barras, onde as barras mais capilares dos consumidores foram agrupadas em um número de 71 barras, somando suas cargas, e compactando os trechos, todos eles atendidos em baixa tensão, com tensão trifásica de 380 V. De modo, que os centros de recarga também sejam agrupados nessas barras para as diferentes montagens de cenários.

Logo serão 69 cargas divididas, com valores variados de potência instalada, em todos os cenários serão adicionadas as cargas que possuírem 1 kW instalada.

### 4.4 Montagem dos cenários

Seguindo a IEC 61851, que tem como função padronizar os modos de recarga que as estações devem disponibilizar a potência, além da forma de onda da corrente, ela pode ser alternada ou contínua, que entra na parte do aspecto construtivo dos veículos elétricos, a transmissão de energia para a bateria pode ser indiretamente em corrente alternada pelo inversor, ou diretamente em CC para as baterias. Entretanto devido a limitações do software OpenDSS, todas as transmissões serão em corrente alternada.

Segue a tabela 3 (Dados desta pesquisa, 2022), com os valores dos cenários, VEs conectados no sistema serão distribuídos em no máximo 5% dos 460 consumidores, em alguns dos cenários essa porcentagem será reduzida dependendo do valor da potência,



logo também do valor da corrente.

O cenário 1 será caracterizado por simular a recarga lenta em três diferentes horários, com duração de 10h, são conectados simultaneamente 6 automóveis distribuídos de forma aleatória no sistema.

Os cenários 2 e 3 simulam recargas intermediárias que vão de 5h a 2h de duração, com a corrente variando de 32 A à 63 A, foram feitas em sete diferentes horários levando em consideração a curva de carga do sistema.

Por último foi realizada a simulação do cenário 4, que se baseia na recarga rápida, esta com corrente ultrapassando os 100 A, logo somente foi utilizado um veículo em cada intervalo, o que já foi suficiente como será visto no tópico 5 para gerar consequências significantes na qualidade da rede.

Tabela 3. Construção dos cenários indo da carga lenta (Cenário 1), até a intermediária (Cenário 2), e por final as rápidas (Cenários 3 e 4)

Cenário 1 (recarga lenta)		Cenário 2 (recarga intermediária 1)	
Tensão	380 V	Tensão	380 V
Corrente	16 A	Corrente	32 A
Potência	6,1 kW	Potência	12,2 kW
Duração da recarga	10h	Duração da recarga	5h
Porcentagem	4%	Porcentagem	5%
Consumidores totais	18	Consumidores totais	24
Intervalos	Veículos conectados no sistema	Intervalos	Veículos conectados no sistema
Cenário 1.1: 20h-5h	6	Cenário 2.1: 20h-0h	6
Cenário 1.2: 22h-7h	6	Cenário 2.2: 1h-5h	6
Cenário 1.3: 10h-19h	6	Cenário 2.3: 9h-13h	6
		Cenário 2.4: 17h-21h	6

Cenário 3 (recarga intermediária 2)		Cenário 4 (recarga rápida)	
Tensão	380 V	Tensão	380 V
Corrente	63 A	Corrente	113 A
Potência	24 kW	Potência	643 kW
Duração da recarga	2h	Duração da recarga	1h
Porcentagem	2%	Porcentagem	menos de 1%
Consumidores totais	9	Consumidores totais	3
Intervalos	Veículos conectados no sistema	Intervalos	Veículos conectados no sistema
Cenário 3.1: 22h-23h	3	Cenário 4.1: 8h	1
Cenário 3.2: 11h-12h	3	Cenário 4.2: 11h	1
Cenário 3.3: 18h-19h	3	Cenário 4.3: 18h	1

## 5 | RESULTADOS

### 5.1 Estudo de caso

No primeiro momento serão analisados os cenários com a inserção dos carregadores, e logo após serão adicionadas as gerações de energia distribuídas, com a função de auxiliar a rede de distribuição de baixa tensão.

### 5.2 Simulação com os veículos carregando em diferentes horários

Como pode ser visto na tabela 3 e no subtópico 3.3, os níveis de tensão 220/380 V possuem limites para serem atendidos de forma adequada, fora destes, principalmente limites abaixo, pode se ter níveis precários (0,92 pu), ou críticos (0,87 pu), logo as análises visam obter os indicadores de qualidade.

Ao final destas simulações pôde ser aferido, que maioria dos cenários não apresentou consequências quanto a déficit nos níveis de tensão, ou na demanda de energia, horários esses que foram mais presentes a noite e início da manhã, que foi possível somente a dois fatores, um número bem reduzido de consumidores residenciais, e a curva típica que se apresenta como comercial.

Já em 5 dos 13 cenários (1.3 , 2.3 , 2.4, 3.2 e 4.2) houve uma necessidade uma demanda de potência maior que o transformador pode fornecer, também nos mesmos cinco cenários houve a tensão mínima de atendimento menor que a especificada no módulo 8 do Prodlist, apresentado na tabela 4.

Desse modo, pode se presumir que como consequências negativas, irão ocorrer a abertura das proteções do transformador, ocasionando perdas tanto na qualidade do serviço como na do produto, como variação de tensão, aumento da frequência de interrupções e prolongação da duração do período sem fornecimento.

A tabela 4 (Dados desta pesquisa, 2022) faz um resumo de quatro destes cinco cenários, que tiveram as cargas em diferentes trechos apresentadas, e como a presença desses carregadores em específicas localizações do circuito podem ser permitidas ou não permitidas, desde que ocorra uma melhoria na infraestrutura desse sistema, em relação principalmente a demanda de potência.

Cenário	Trecho	Nível mínimo de tensão em pu	Taxa de atendimento do Prodlist módulo 8	Perdas Ativas (kW)
Sem carregador	Trecho inicial	0,968	Adequado	2,99
	Trecho intermediário	0,94	Adequado	6,06
	Trecho final	0,926	Adequado	6,64
Cenário 1.3	Trecho inicial	0,961	Adequado	4,36
	Trecho intermediário	0,924	Adequado	9,34
	Trecho final	0,905	Precário	10,21
Cenário 2.3	Trecho inicial	0,954	Adequado	5,94
	Trecho intermediário	0,909	Precário	13,24
	Trecho final	0,884	Precário	14,50
Cenário 3.2	Trecho inicial	0,923	Adequado	5,91
	Trecho intermediário	0,914	Precário	0,14
	Trecho final	0,888	Precário	14,86
Cenário 4.2	Trecho inicial	0,923	Adequado	4,70

Tabela 4. Comparação entre os cenários

### 5.3 Simulação com os auxílios das gerações distribuídas

O veículo elétrico quando este está parado na residência do proprietário, nos estacionamentos de centros comerciais ou universidades, ele se comportará, se conectado na rede de distribuição, como um sistema de armazenamento com capacidade de se carregar, e também de fornecer energia à rede.

A formação de um cenário com a entrada de fontes de energias renováveis como geração distribuída permite que o carro seja abastecido durante o dia por fontes renováveis, neste caso foi adotada uma micro geração de 70 kVA, e a noite quando se tem períodos de pico de demanda, mais precisamente das 18h às 21h o sistema de armazenamento do

VE fornece energia para as propriedades dos usuários, caso a curva desse sistema seja residencial. Ao contrário, em um sistema com maior característica comercial, com maior demanda na parte da tarde e início da noite, o sistema de armazenamento veicular iria auxiliar na geração de energia para esse circuito.

Desse modo, serão refeitos os cenários com o auxílio de uma planta solar fotovoltaica no sistema, ou do sistema de armazenamento, ou de ambas no sistema, respectivamente, que podem ser observadas das tabelas 5 a 10 (Dados desta pesquisa 2022).

### 5.3.1 Simulação com carregador e auxílio de uma planta solar fotovoltaica de 70 kVA

Com carregador de 12,2 kW com planta solar					
Cenário 2.3 - 9h-13h	9h	10h	11h	12h	13h
max.pu	0,99916	0,9991	0,99906	0,99919	0,99906
min.pu	0,92686	0,92164	0,91751	0,93023	0,92964
potência ativa (kW)	135,6	146,67	155,43	128,4	129,71

Tabela 5. Resultados para o cenário 2.3 com o auxílio da planta solar

Com carregador de 24 kW com planta solar		
Cenário 3.2 - 11h-12h	11h	12h
max.pu	0,99907	0,9992
min.pu	0,92062	0,93349
potência ativa (kW)	154,17	127,28

Tabela 6. Resultados para o cenário 3.2 com o auxílio da planta solar

### 5.3.2 Simulação com carregador e auxílio do sistema de armazenamento fornecendo

Com carregador de 12,2 kW com o sistema de armazenamento fornecendo das 11h às 14h			
Cenário 2.3 - 9h-13h	11h	12h	13h
max.pu	0,999	0,9991	0,99913
min.pu	0,90134	0,92164	0,91395
potência ativa (kW)	185,7	159,2	160,5

Tabela 7. Resultados para o cenário 2.3 com o auxílio do sistema de armazenamento fornecendo energia a rede

Com carregador de 24 kW com o sistema de armazenamento fornecendo das 11h às 14h		
Cenário 3.2 - 11h-12h	11h	12h
max.pu	0,999	0,99915
min.pu	0,902	0,91500
potência ativa (kW)	184,4	158

Tabela 8. Resultados para o cenário 3.2 com o auxílio do sistema de armazenamento fornecendo energia a rede

5.3.3 Simulação com carregador e auxílio de ambas as gerações distribuídas

Com carregador de 12,2 kW com planta solar das 7h às 18h e sistema de armazenamento das 11h às 14h			
Cenário 2.3 - 9h-13h	11h	12h	13h
max.pu	0,99913	0,99926	0,99926
min.pu	0,933	0,84700	0,9464
potência ativa (kW)	120,1	92,2	93,5

Tabela 9. Resultados para o cenário 2.3 com o auxílio de ambas as gerações distribuídas

Com carregador de 24 kW com planta solar das 7h às 18h e sistema de armazenamento das 11h às 14h		
Cenário 3.2 - 11h-12h	11h	12h
max.pu	0,99913	0,99927
min.pu	0,934	0,94520
potência ativa (kW)	119	91,24

Tabela 10. Resultados para o cenário 3.2 com o auxílio de ambas as gerações distribuídas

Esses resultados provaram que a entrada de uma planta fotovoltaica, ou um conjunto delas, somando sua potência em um valor de 70 kVA, e o sistema de armazenamento de um veículo elétrico fornecendo energia irão auxiliar de forma substancial o sistema, garantindo que os níveis de qualidade do serviço e do produto sejam atendidos.

6 | CONCLUSÕES

O Brasil apresenta uma matriz energética elétrica predominantemente limpa, e sustentável, com reduzida emissão de gases de efeito estufa. Entretanto o nosso sistema de transporte de passageiros e de cargas, tem predominância rodoviária baseado em veículos MCI, os quais são responsáveis por grande quantidade de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Neste sentido os veículos elétricos plug-in ganham importância por não emitirem poluentes localmente, portanto o sistema elétrico brasileiro deve estar preparado para este desafio.

A inserção desse novo consumidor na rede de distribuição foi apresentada neste trabalho através de simulações utilizado o software OpenDSS, para a análise das operações de recarga em diferentes horários e com diferentes níveis de carregamento, foram idealizados 4 cenários de carregamento. Um alimentador de distribuição em baixa tensão, com curva de carga comercial foi escolhido para o estudo de caso, para facilitar a simulação, as cargas e as barras foram reduzidas, porém mantendo a validade dos dados do alimentador.

Os cenários foram montados com no máximo 5% das unidades consumidoras com a presença de VE's, este número, para a realidade atual pareça ser muito expressivo, analistas de mercado acreditam em um crescimento das vendas de VE's, quer sejam impulsionadas por políticas públicas de estímulo ao setor ou por popularização do mercado. Observa-se, tomando como base o alimentador em estudo, que haverá a necessidade de uma readequação/modernização de toda a rede de distribuição.

Os resultados das simulações mostraram que em horários fora de ponta, os parâmetros de qualidade da rede foram aceitáveis, embora com um número reduzido de VE's conectados à rede. Já as recargas que foram realizadas em horários comerciais, resultaram em níveis de qualidade do produto e de serviço como precários, definidos pelo módulo 8 do Prodist. Sempre tomando como base o alimentador em estudo, a simulação indica a possibilidade de locais mais críticos, para conexões de recarga de VE's, com uma possível necessidade de reestruturação da rede.

Com o intuito de mitigar os problemas encontrados, foram feitas simulações inserindo duas fontes de geração distribuída, uma que já é realidade (fotovoltaica em micro geração) e outra que pode vir a ser (sistema de armazenamento fornecendo energia à rede, V2G), e os resultados foram bastante promissores, pois as soluções mitigadoras auxiliaram a rede a manter seus indicadores de qualidade no fornecimento.

Lógico que para a obtenção desses tipos de solução é necessária uma infraestrutura avançada, com uma comunicação entre a rede, por meio de um medidor, e com o próprio sistema de armazenamento, através do BMS, que fará a leitura e aquisição de dados, permitindo o controle V2G, desse modo será feito o gerenciamento da rede e o faturamento da diferença, entretanto esse conceito só é possível através de uma *Smart Grid*.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. PRODIST: módulo 8. 2022. Acesso em: 7 abr. 2022.

ANEEL. Resolução Normativa nº 819 (ANEEL, 2018) Acesso em: 29 nov. 2021.

ANEEL. Resoluções Normativa nº 482 (ANEEL, 2012) Acesso em: 12 dez. 2021.

ANEEL. Resolução Normativa nº 687 (ANEEL, 2015) Acesso em: 12 dez. 2021.

Arrabaca, D. A., Gimenez, S. P. Eletrônica de Potência: Conservadores de Energia. 2. Ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

Castro, B., Ferreira, T. — Veículos elétricos: Aspectos básicos, perspectivas e oportunidades, II Revista BNDES Setorial, Setembro 2010.

Hanauer, D. Mode 2 Charging Testing and Certification for International Market Access. World Electric Vehicle Journal, v. 9, n. 26, 2018.

Husain, I., Electric and hybrid vehicles: design fundamentals. CRC Press LLC: Eua, 2003.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61851-1:2017-02 —Electric Vehicle Conductive Charging System—Part 1: General RequirementsII; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2017.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 62196-1:2014-6 —Plugs, Socket-Outlets, Vehicle Connectors and Vehicle Inlets—Conductive Charging of Electric Vehicles—Part 1: General RequirementsII; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2014.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 62196-2:2016-02 —Plugs, Socket-Outlets, Vehicle Connectors and Vehicle Inlets—Conductive Charging of Electric Vehicles—Part 2: Dimensional Compatibility and Interchangeability Requirements for a.c. Pin and Contact-Tube AccessoriesII; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2016.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 62752:2016-03 —In-Cable Control and Protection Device for Mode 2 Charging of Electric Road Vehicles (IC-CPD)II; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2016.

Kagan, N; Oliveira, C; Robba, E – Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. Edgar Blucher, 2017.

Kempton, W; Tomic, J —Vehicle-to-Grid Power Implementation: From Stabilizing the Grid to Supporting Large-scale Renewable Energy,II Journal of Power Sources, v. 144, n. 1, p. 280-294, Jun., 2005.

Projeto de Lei do Senado nº304, de 201 (BRASIL, 2017).

Rodrigues, M. do C. B. P. et al. Conexão de veículos elétricos à rede de energia elétrica para recarga de baterias: uma visão geral. Eletrôn. Potên., Campo Grande, v. 19, n.2, p.193-207, mar./mai. 2014.

Su, W. et al. —A Survey on the Electrification of Transportation in a Smart Grid Environment,II IEEE Trans. on Industrial Informatics, v.8, n.1, p.1-10, Feb. 2012.

# DESAFIOS DA PRODUÇÃO DE ANIMAÇÃO NO BRASIL: CONSIDERAÇÕES COM BASE NOS RELATOS DE EXPERIÊNCIAS DE PROFISSIONAIS

*Data de aceite: 02/01/2024*

### **Flávia Resende Lacerda**

Discente no Departamento de Desenho Industrial. Bolsista voluntária do PIVIC 2021/2022. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.  
<http://lattes.cnpq.br/2587902478417688>

### **Elisangela Lobo Schirigatti**

Docente no Departamento de Desenho Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.  
<http://lattes.cnpq.br/8259244507971412>

**RESUMO:** A indústria de animação cresce no Brasil e tem potencial de maior geração de renda, empregos e valor cultural. Esta pesquisa tem como objetivo identificar quais tecnologias contribuem para o desenvolvimento da indústria de animação quando empregadas como estratégias de superação de desafios na cadeia produtiva, em especial na animação 2D digital. A pesquisa é de natureza qualitativa, sendo realizada a pesquisa bibliográfica e a transcrição em língua portuguesa do relato de profissionais que atuam na produção e gestão de equipes de animação no

Brasil. Os desafios identificados foram: a insuficiência ou inadequação das etapas de pré-produção; a limitação nos orçamentos para a produção; dificuldades em seguir cronogramas. Os resultados mostram que muitos desafios de produção têm sido contornados com a experiência dos profissionais e são amenizados com a implementação de modelos de gestão que foram sendo aprimorados empiricamente. Por fim, fica evidente a necessidade de ampliar o emprego de métodos sistematizados de etapas de produção, bem como o registro dos conhecimentos de produção de animação.

**PALAVRAS-CHAVE:** indústria criativa; mercado de animação; processo produtivo.

### CHALLENGES OF ANIMATION PRODUCTION IN BRAZIL: CONSIDERATIONS BASED ON THE ACCOUNTS OF PROFESSIONALS' EXPERIENCES

**ABSTRACT:** The animation industry in Brazil is growing and it has the potential to generate income, create jobs and cultural value. This research has the goal to identify which technologies contribute to overcoming challenges in the productive chain, specially

in 2D digital animation. This research has a qualitative nature, and was conducted by bibliographic research and the transcription of accounts made by professionals that work in the production and management of animation teams in Brazil. The main perceived challenges were highlighted through content analysis of the transcription. The identified challenges were: insufficient or inadequate realization of pre-production steps; limited production budgets; difficulties to follow production schedules. The results show that many of the production challenges are overcome through the professionals' experience and are mitigated with the implementation of management models that were empirically refined. Lastly, it is evident the need of systematized methods of production steps, as well as documenting the knowledge of producing animation.

**KEYWORDS:** creative industry; animation market; production process.

## INTRODUÇÃO

Enquanto órgãos ao redor do mundo adotam diferentes definições da economia da cultura, o relatório das Nações Unidas traz a definição da Unesco (2008) a define como as atividades que envolvem criar, produzir, comercializar bens ou serviços culturais. Similarmente, com foco no Brasil, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, conforme Gorgulho (2009), a partir da definição do Ministério da Cultura brasileiro, delimita a economia da cultura pelas áreas: patrimônio cultural, audiovisual, editorial, fonográfico e de outros bens e serviços culturais. As atividades desse setor são relevantes não apenas do ponto de vista artístico e cultural, mas também econômico pois geram renda, emprego e bem-estar (GORGULHO, 2009). Ainda muitas animações brasileiras são apresentadas no exterior por meio de festivais e dessa forma têm a capacidade de representar a cultura do Brasil mundo afora (SCHIRIGATTI et al., 2018). A indústria de animação no Brasil tem crescido na última década, devido a diversos fatores. Entre eles: o maior número de canais de TV por assinatura, cotas para obras brasileiras na TV por assinatura e surgimento de plataformas de VoD (vídeo sob demanda), como a Netflix, que demandam a criação de novos conteúdos originais (NIKO; ZENDRON, 2019). Além dos editais de captação, as tecnologias digitais se tornaram mais acessíveis, o que também contribuiu para o crescimento do mercado brasileiro de animação (PANDOLFI et al., 2015). A produção de animação usando técnicas digitais no seu início tinha muitas restrições relacionadas à capacidade computacional disponível, conhecimento especializado e orçamento. Os avanços tecnológicos e a maior disponibilidade de computadores tornou possível a ampla disseminação da animação digital cujas etapas de produção, desde a pré-produção até a distribuição são realizadas com o computador. (CHONG, 2011). O orçamento persiste como um fator limitante, motivando a busca por formas de produção inovadoras e eficientes para manter a competitividade dos estúdios (WINDER; DOWLATABADI, 2011). Enquanto que ao assistir a filmes de animação pode-se notar muito movimento, fluidez e a aparência de espontaneidade que imita a vida, a produção de animação utiliza uma estrutura hierárquica, em etapas bem definidas e funções bem definidas para se concretizar. Esta pesquisa tem



como objetivo identificar desafios na cadeia produtiva e quais as tecnologias empregadas como estratégia na superação desses que forma que contribuem para o desenvolvimento da indústria de animação, em especial na animação 2D digital.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Em 2021 diversas conferências e fóruns sobre animação foram feitos de forma online devido à pandemia, com as respectivas gravações disponíveis na plataforma Youtube. O formato é de mesas com transmissão ao vivo, em que profissionais atuantes da área abordam o tema da animação a partir de suas experiências como profissionais. A pesquisa em questão é de natureza qualitativa, sendo realizada a transcrição em língua portuguesa e análise de conteúdo (BARDIN, 2010). Foi selecionada como base a apresentação remota denominada “Produtividade e harmonia - Modelos de produção e gestão de equipes” realizada durante a Conferência do Dia Internacional da Animação (ConDia) pela Associação Brasileira de Cinema de Animação (ABCA), no período de 25 a 28 de outubro de 2021. A partir da análise desses relatos realizou-se a pesquisa em materiais científicos para constatar a pertinência dos desafios descritos. Isso foi feito utilizando a pesquisa avançada da plataforma de periódicos CAPES. Utilizou-se um filtro de artigos revisados por pares. O termo utilizado na busca foi “animation industry”, entre aspas, de artigos das áreas: Social Sciences; Film, Radio, Television Studies; Animated Films; Globalization; Anime; Innovations; nos idiomas português e inglês. O período considerado foi de publicações feitas nos últimos 10 anos. Dessa forma, obteve-se 180 resultados. Em português apenas um artigo estava presente no resultado. Apesar da busca avançada para delimitar artigos relevantes ao tema da animação, ainda foi necessário selecionar individualmente artigos para a leitura porque ainda estavam presentes no resultado artigos com temas de outras áreas. Além de artigos acadêmicos, os livros publicados sobre o tema de animação e produção de animação foram úteis para entender a cadeia produtiva de animação. Como exemplo, o livro “Producing Animation” de Winder e Dowlatabadi (2012), que sistematiza o complexo processo de produção de animação e é frequentemente citado por outros autores que escrevem sobre o tema. Outra forma de busca utilizada foi, a partir das referências bibliográficas de artigos encontrados. Muitas vezes estavam presentes artigos cujos títulos indicavam que poderiam ser relevantes para pesquisa. Utilizando-se do nome do artigo e nome do autor foi feita a busca por esse no Google Scholar e muitos desses estavam disponíveis para leitura.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da pesquisa bibliográfica sobre a indústria da animação foram organizados no Quadro 1 os resultados que mais se relacionam aos problemas encontrados:

Ano	Título	Autoria
2011	Producing Animation	Catherine Winder; Zahra Dowlatabadi.
2015	Globalization of the animation industry: multiscalar linkages of six animation production centers	Hyejin Yoon
2015	Estudo do processo de realização da produção de animação em longa-metragem do filme “Até que a Sbornia nos Separe”.	Fabiano Pandolfi; Marsal Alves Branco; Cristiano Max Pinheiro.
2018	A produção de animação no Estado do Paraná/ Brasil com base no uso de recursos públicos e privados.	Elisangela Lobo Schirigatti; Ilan Avrichir; Luis Fernando Fonseca Kasprzak.
2019	Processo de produção de uma animação: Uma abordagem teórica	Elisangela Lobo Schirigatti; Ilan Avrichir.

Quadro 1 – Obras relacionadas aos desafios

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A partir da análise de conteúdo, notou-se que os principais desafios relatados por profissionais envolvidos na produção de animação foram: etapas de pré-produção insuficientes, dificuldade de manejar os atrasos de entregas, orçamentos limitantes e desafios de gestão de recursos humanos, sendo citada também a saúde emocional dos animadores. A produção de uma obra de animação ocorre em diversas etapas e envolve diferentes tarefas do profissional animador. As fases metodológicas de um projeto de animação podem ser divididas de forma básica em desenvolvimento, pré-produção, produção e pós-produção (ABCA, 2021). Nos casos em que estúdios de animação pretendem obter recursos de financiamento dos projetos de animação, é necessário estruturar a proposta de forma que inclua as etapas de produção, incluindo os itens:

Conceito Geral (Breve descrição do conceito da série com no máximo 8 linhas, estabelecendo de forma resumida o tema e o tom da série e seu enredo base); Proposta de Série( apresentação da proposta de série de animação, incluindo tema, tom e resumo do enredo da série, com indicação da faixa etária escolhida); Personagens (Descrição dos personagens principais, incluindo seu perfil psicológico e as relações que estabelecem entre si. Quinze linhas para cada descrição) Concepção Visual (Descrição do estilo de direção de arte que se pretende imprimir ao projeto e sua relação com custos e prazos de produção. Máximo de 1 página); Arte Conceitual (No mínimo cinco desenhos de personagens e cenário, exemplificando a direção de arte da série); Roteiro (Roteiro completo do Episódio-Piloto da Série, a ser produzido em caso de seleção do projeto); Storyboard (Storyboard de uma cena do episódio-piloto); Argumentos (Argumentos Preliminares de 6 episódios da série. 10 linhas para cada argumento); Desenho de Produção e Orçamento, ambos a partir de formulário padrão publicado em anexo ao regulamento (SCHIRIGATTI et al., 2018).

No caso de um projeto de animação seriada para a TV, após a fase de desenvolvimento, cada episódio é produzido em três fases, pré-produção, produção e pós-

produção. Alguns dos recursos produzidos na fase de desenvolvimento continuam sendo relevantes e indispensáveis nas próximas etapas de produção como a bíblia de produção, cronogramas e orçamentos. A bíblia é uma ferramenta que tem registros por escrito dos elementos chave da série. Servirá para manter a coerência da série e auxiliar na realização de arte de acordo com os objetivos do projeto. O guia de estilo visual ou style guide também é confeccionado antes de se dar início à fase de produção. O guia contém diretivas que dizem respeito ao estilo de arte dos elementos visuais da animação para que seja mantida constância visual ao longo da produção (SCHIRIGATTI, 2019). O desenvolvimento do style guide é útil para a produção da arte e de planejamento mesmo que esse processo em si envolva custos de tempo e orçamento. O produtor e diretor poderão definir o design de elementos visuais levando em conta a história e as limitações de orçamento de forma que a quantidade de fundos necessária seja alocada com base nessas decisões (WINDER; DOWLATABADI, 2011). Os relatos dos profissionais citam a importância desses itens na produção, no entanto consideram que são muitas vezes a bíblia da produção e guias de estilo não são feitos de forma satisfatória. Esse desafio é reafirmado por Fabiano Pandolfi que comenta sua experiência como diretor de animação :

A não realização de uma pré-produção sólida, por exemplo, que deveria limitar o escopo das produções (as viabilizando de acordo com diretrizes de tempo, dinheiro e mão de obra), ocasiona uma inconstância na qualidade técnica do filme. Muitas vezes, essa urgência em começar a produção acontece pela sensação de que o aporte (público) está sendo gasto sem que haja filme ficando pronto (PANDOLFI et al., 2015).

Outro desafio relatado foi o de produzir animações dentro das restrições orçamentárias. Os mecanismos de fomento e incentivo colaboraram com a viabilização financeira de animações. Por exemplo, a regulamentação da Lei nº 12.485, conhecida como Lei da TV Paga, gerou demanda por conteúdos originais brasileiros. Também é possível que estúdios tentem captar recursos públicos a partir de editais, sendo necessário o orçamento da obra (SCHIRIGATTI et al., 2018). Assim, todo projeto terá seu próprio custo e cada produtora assegura recursos à sua maneira. O orçamento persiste como um fator limitante, motivando a busca por formas de produção inovadoras e eficientes para manter a competitividade dos estúdios (WINDER; DOWLATABADI, 2011). Ainda, apesar dos avanços tecnológicos permitindo maior produtividade, especialmente na técnica 2D digital, o cronograma é outro desafio relatado. O planejamento da produção se relaciona com o limite orçamentário devido à natureza trabalho-intensiva da indústria da animação (YOON; MALECKI, 2010). Devido a este desafio ser comum aos estúdios de animação, com a finalidade de cortar custos e atingir datas-limite, muitos estúdios internacionais recorrem ao outsourcing, ou terceirização da animação (TSCHANG, 2004).

Levando em conta os desafios citados, os produtores dispõem de estratégias que adquiriram com sua experiência. O uso de softwares de gerenciamento como Slack

(canais de comunicação), Trello (listas de tarefas) e Google Docs é uma das estratégias empregadas, fazendo uso de novas tecnologias de gestão. Com o tempo, os profissionais que gerem a produção adquirem conhecimento do ritmo de produção de cada animador. Relatam que se tornam mais capazes de estimar o prazo de entrega das tarefas atribuídas a cada animador. Quanto à limitação de orçamentos, os profissionais relataram a necessidade de restringir a produção de acordo com o limite financeiro. Também consideram como estratégia viável manter equipes menores que tenham animadores generalistas. Assim, o mesmo animador poderá atuar em diferentes etapas do processo. Ainda, referindo-se especificamente à produção de obras de animação 2D seriadas para TV, em que vários episódios entram em produção simultaneamente, os produtores relatam que de acordo com as demandas específicas de episódios atribuem tarefas para os animadores levando em conta sua capacidade produtiva do momento.

## CONCLUSÕES

Com base na análise feita junto à pesquisa bibliográfica pode-se destacar que os desafios identificados foram: a insuficiência ou inadequação das etapas de pré-produção; a limitação nos orçamentos para a produção; a frequência dos atrasos em entregas dos projetos; e a saúde emocional dos animadores. Por fim, percebe-se que muitas das dificuldades na produção têm sido contornadas com a experiência dos próprios animadores e são amenizadas com a implementação de modelos de gestão que foram sendo aprimorados empiricamente. Dessa forma fica evidente que ampliar o emprego de métodos sistematizados de etapas de produção, como no caso da pré-produção, é uma necessidade. Ainda, profissionais que atuam na área têm adquirido conhecimentos empíricos sobre a produção por meio de suas experiências, contudo notou-se pouco material codificado disponível, como o manual de Winder e Dowlatabadi, que aborda a produção de animação. A experiência desses profissionais, se codificadas em livros ou manuais, por exemplo, tem o potencial de auxiliar o fortalecimento da indústria por ampliar o conhecimento disponível. Considerando que a pesquisa se limitou a um relato relacionado à produção de animação e pesquisa bibliográfica disponível sobre o tema, acredita-se que um estudo mais amplo com relatos de profissionais de outros estúdios de animação pode reforçar a identificação de desafios e estratégias empregadas por produtores de animação.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à professora orientadora Elisangela Lobo Schirigatti e ao grupo de estudos em animação da UTFPR que possibilitaram muito aprendizado e encorajamento.

## CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

ABCA - Associação Brasileira de Cinema de Animação. **CARTILHA: Questões frequentes relativas a projetos de animação**. 2021

BARDIN, Laurence. (2010). **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70.

CHONG, Andrew. **Animação digital**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

GORGULHO, Luciane Fernandes et al. **A economia da cultura, o BNDES e o desenvolvimento sustentável**. 2009. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1961>> Acesso em: out. 2021

NIKO, Diego; ZENDRON, Patrícia. **O mercado consumidor de animação no Brasil**. BNDES Set., Rio de Janeiro, v. 25, n. 49, p. 7-27, mar. 2019. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16961>>, 2019.

PANDOLFI, Fabiano; BRANCO, Marsal Alves; PINHEIRO, Cristiano Max. **Estudo do processo de realização da produção de animação em longa-metragem do filme “Até que a Sbornia nos Separe”**. Freevale GamePad, v. 20, 2015.

SCHIRIGATTI, Elisangela Lobo; AVRICHIR, Ilan. **Processo de produção de uma animação: Uma abordagem teórica**. Diálogo com a Economia Criativa, v. 4, n. 11, p. 32-55, 2019.

SCHIRIGATTI, Elisangela Lobo; AVRICHIR, Ilan; KASPRZAK, Luis Fernando. **A produção de animação no Estado do Paraná/Brasil com base no uso de recursos públicos e privados**. In: Congresso Internacional de Administração, 15., Sucre/Bolívia. Anais...Sucre:ADM, 2018

TSCHANG, Feichin et al. **Production and political economy in the animation industry: Why insourcing and outsourcing occur**. 2004.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT - UNCTAD. **Creative Economy Report 2008**, Gevene, 2008. Disponível em <[http://www.unctad.org/en/docs/ditc20082cer\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/ditc20082cer_en.pdf)>

WINDER, Catherine; DOWLATABADI, Zahra; MILLER-ZARNEKE, Tracey. **Producing animation**. Routledge, 2012.

YOON, Hyejin; MALECKI, Edward J. **Cartoon planet: worlds of production and global production networks in the animation industry**. Industrial and Corporate Change, v. 19, n. 1, p. 239-271, 2010.

**FABRÍCIO MORAES DE ALMEIDA** - Possui Doutorado em Física pela UFC (2005) com Pós-doutorado - UFMT/CNPq (2009). E também com formação em Matemática/Engenharia de Computação/Produção. Têm várias pesquisas científicas com temas de Engenharia Elétrica, Computação/Produção; Inovação, Modelagem, Gestão e Desenvolvimento Regional; Modelagem Matemática/Computacional e pesquisas multidisciplinares. É líder do grupo de pesquisa Gestão da Inovação e Tecnologia - GEITEC/UFRO. Já orientou dezenas de teses, dissertações e monografias. Adicionalmente, com centenas de publicações científicas em diversas revistas internacionais e nacionais. *E também foi Chefe de Departamento do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica da Fundação Universidade Federal de Rondônia entre 2012 e 2019* (para saber mais, acesse: <https://eletrica.unir.br/homepage> ). E algumas áreas de atuação, são: Ciência de dados e Engenharia; Engenharia de computação; Engenharia de Software, Engenharia Elétrica; Engenharia de Produção; Gestão, Tecnologia e Inovação; Modelagem e Ciências Ambientais; Sistema de Computação e Energia (para saber mais, acesse: <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhorh/5959143194142131>). Ademais, têm especializações pela FUNIP (2020/2023), em: Engenharia Elétrica, Engenharia de Produção, Engenharia de Controle e Automação Industrial; Engenharia de Software e Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Tem experiência com: consultoria de pesquisa, tecnologia, engenharia, inovação e negócios; mais de 20 anos de experiência com administração e gerência de empresas públicas e privadas; também com vasto conhecimento em gestão de projetos; mais de 22 anos de estudos/pesquisas com computação e análise de dados. Atualmente, é professor-associado 3 da Universidade Federal de Rondônia. Desde 2012, é professor do Departamento de Engenharia Elétrica. E docente do Programa de Pós-graduação: Doutorado/Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente – UFRO, desde 2014. Além disso, é Bolsista de **Desenvolvimento Tecnológico Industrial do CNPq-DTI Nível A**. (para saber mais, acesse: <http://lattes.cnpq.br/5959143194142131>).

## A

Algoritmos da LPA 4

## B

Baseado em veículos MCI 54

Brazilian electrical system 27

## C

Código aberto programada em C/C++ 17

Cyberphysical Systems 16

## D

Dashboard 15, 16, 18

Data monitoring 16

Distributed generation 2, 14, 40

## E

Electric vehicles 40, 56

## F

Função de detecção de ilhamento 7

## G

Geração distribuída 1, 9, 14, 31, 39, 47, 52, 55

Geração hídrica 26, 27, 33, 35, 36

## H

Hardware-in-the-loop (HIL) 1, 2

Hydro generation 27, 36

Hydropower plants 27

## I

IEC 61851 50, 56

IHM Siemens KTP 400 Basic 20

Indústria 4.0 16, 17, 24

Indústria criativa 57

## L

Ladder e Blocos de Funções (FBD) 17

Low voltage grid 40

**M**

Mercado de animação 57

Modelagem do sistema no OpenDSS 48

Modelos de produção e gestão de equipes 59

**P**

Paraconsistent neural network 1, 2

PLC 16, 19, 20, 23, 24, 25

Processo de automatização de sistemas 16

Processo produtivo 57

Python 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25

**Q**

Qualities of service and product 40

Quality levels 40

**R**

Rede de Análise Paraconsistente (NAP) 8

Rede de Baixa tensão 39

Relé RI-LPA4v 13

Relé ROCOF e ROCOV 13

Renewable energy 27, 36, 56

**S**

Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) 26, 27, 38, 54

Sistema hidrelétrico em cascata 35

Sistema Integrado Nacional (SIN) 29

Sistema teste IEEE 34 barras 9, 10

Software TIA Portal V15 15

Software WINCC TIA Portal V15 21

**U**

UHE, PCH, CGH 33



# ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

conceitos fundamentais e aplicações práticas

 [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)

  
Ano 2024

# ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

conceitos fundamentais e aplicações práticas

 [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)

  
Ano 2024