

ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO APLICADA

ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO APLICADA

 **Atena**
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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
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
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Sistemas de energia elétrica e computação aplicada

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Ernane Rosa Martins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S623 Sistemas de energia elétrica e computação aplicada /
Organizador Ernane Rosa Martins. – Ponta Grossa - PR:
Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0661-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.617222209>

1. Energia elétrica. 2. Computação. I. Martins, Ernane
Rosa (Organizador). II. Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

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.



APRESENTAÇÃO

Os Sistemas de Energia Elétrica (SEE) são compostos por complexos equipamentos e instalações, distribuídos ao longo de extensas regiões geográficas, que tem por objetivos a produção, transmissão e distribuição de energia elétrica. A Computação Aplicada, por sua vez, é o campo de estudo voltado para a análise e resolução de problemas utilizando como ferramenta o computador.

Dentro deste contexto, esta obra aborda diversos assuntos relevantes, tais como: A avaliação da viabilidade técnica e econômica de uso do sistema PV-BESS por meio de índices financeiros como o Payback e ROI (Return of Investment); A múltipla finalidade do Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), a partir do desenvolvimento de um software voltado a criação de relatórios e sua validação; os conceitos do Growth Hacking, as estratégias e ferramentas utilizadas, a construção de um projeto de software base (template) com as referidas técnicas e avaliar estatisticamente qual impacto que uma boa página de vendas, projetada para alto desempenho, conversão e lucratividade poderá ter para o sucesso de uma organização no meio online; O papel de um sistema de armazenamento de energia elétrica (SAEE) sob a forma de hidrogênio na integração entre a geração solar fotovoltaica e a geração hidrelétrica; As principais características dos sistemas SCADA e os critérios para sua proteção em um ambiente de crescente interconectividade.

Sendo assim, os trabalhos que compõe esta obra permitem aos seus leitores, analisar e discutir os diversos assuntos interessantes abordados. Por fim, desejamos a cada autor, nossos mais sinceros agradecimentos por suas contribuições, e aos leitores, desejamos uma excelente leitura com excelentes e novas reflexões.

Ernane Rosa Martins

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE PV + BESS EM UMA UNIDADE RESIDENCIAL EM TOLEDO-PR

Vitor Finger Tureta

Joylan Nunes Maciel

Marco Roberto Cavallari

Jorge Javier Gimenez Ledesma

Oswaldo Hideo Ando Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6172222091>


CAPÍTULO 2..... 21

CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO URBANO: UM ESTUDO DE CASO A PARTIR DE RELATÓRIOS GERADOS UTILIZANDO UM BANCO DE DADOS CADASTRAIS

Alexandre Rabello Ordakowski

Jonata S. Rodrigues

Marcelo Leandro Holzschuh


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6172222092>

CAPÍTULO 3..... 30

CONSTRUINDO LANDING PAGES DE VENDAS DE ALTO DESEMPENHO, CONVERSÃO E LUCRATIVIDADE

Igor Brown Ramos

Marco Antônio Pereira Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6172222093>

CAPÍTULO 4..... 48

INTEGRAÇÃO DA GERAÇÃO HIDROELÉTRICA E SOLAR FOTOVOLTAICA ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA A HIDROGÊNIO JUNTO À UHE ITUMBIARA

Juarez Corrêa Furtado Júnior

Ennio Peres da Silva

Vitor Feitosa Riedel


Ana Beatriz Barros Souza

Hélio Nunes de Souza Filho

Demóstenes Barbosa da Silva

Diogo Hernandez de Oliveira Barbosa

Jacinto Maio Pimentel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6172222094>

CAPÍTULO 5..... 67

SUGESTÕES PARA CRITÉRIOS DE SEGURANÇA PARA SISTEMAS SCADA EM REDE CORPORATIVA - POR QUE E COMO PROTEGER

Lucas Becker

Alexandre Acácio de Andrade

Júlio Francisco Blumetti Facó

SOBRE O ORGANIZADOR.....	82
ÍNDICE REMISSIVO.....	83

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE PV + BESS EM UMA UNIDADE RESIDENCIAL EM TOLEDO-PR

Data de aceite: 01/09/2022

Vitor Finger Tureta

Instituto Latino-Americano de Tecnologia,
Infraestrutura e Território (ILATIT) da
Universidade Federal da Integração Latino-
Americana (UNILA), Foz do Iguaçu, Paraná,
Brazil

Joylan Nunes Maciel

Instituto Latino-Americano de Tecnologia,
Infraestrutura e Território (ILATIT) da
Universidade Federal da Integração Latino-
Americana (UNILA), Foz do Iguaçu, Paraná,
Brazil

Marco Roberto Cavallari

Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP), Campinas, Brasil

Jorge Javier Gimenez Ledesma

Instituto Latino-Americano de Tecnologia,
Infraestrutura e Território (ILATIT) da
Universidade Federal da Integração Latino-
Americana (UNILA), Foz do Iguaçu, Paraná,
Brazil

Grupo de Pesquisa em Energia &
Sustentabilidade Energética (GPEnSE) da
Universidade Federal Rural de Pernambuco
(UFRPE), Recife, Brasil

Oswaldo Hideo Ando Júnior

Unidade Acadêmica do Cabo do Santo
Agostinho at the Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Recife, Brasil
Grupo de Pesquisa em Energia &
Sustentabilidade Energética (GPEnSE) da
Universidade Federal Rural de Pernambuco
(UFRPE), Recife, Brasil

RESUMO: O consumo de energia elétrica no âmbito residencial tem previsão de aumento de 1,5% a.a., influenciando diretamente o balanço energético nacional, causado pelo aumento do número de consumidores. Tal fato, juntamente com os fatores climáticos, tem aumentado a busca por fontes alternativas de energia, o que, como consequência, também possui o benefício de economia financeira para o consumidor. A fotovoltaica é uma fonte de energia intermitente, que permite utilizar sistemas de armazenamento e deixar de utilizar da rede. O sistema SFV-BESS (Sistema Fotovoltaico + Battery Energy Storage System) pode se tornar uma opção viável, em especial a partir de 2023, ano em que a Lei nº 14.300/22 entrará em vigor, e na qual os créditos gerados serão taxados em 30 % a partir do momento em que forem injetados na rede. Desta forma, o objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade técnica e econômica de uso do sistema PV-BESS por meio de índices financeiros como o Payback e ROI (Return of Investment). Para realizar o estudo utilizou-se do dimensionamento de um sistema fotovoltaico que suprisse a demanda de 17,25 kWh/dia, tomando como base uma residência localizada em Toledo – PR. A dispersão horária de consumo foi obtida por meio da faixa típica produzida, calculando-se a potência de pico para encontrar número de módulos e posteriormente a potência e número de inversores necessários. Para suprir a demanda no horário de pico, considerou-se um BESS de capacidade 10 kWh. Analisaram-se 3 cenários diferentes, considerando 1A um sistema fotovoltaico sem BESS em regime tarifário convencional, 2A um sistema fotovoltaico com

BESS em regime tarifário convencional e 2B um sistema fotovoltaico com BESS em regime de tarifa branca. Em observância à geração dos 9 módulos PV e consumo da residência, o excedente foi considerado para carga do BESS até sua capacidade e o restante foi injetado na rede. Com o cenário de 25 anos e a Lei nº 14.300/22, observa-se que o cenário 1A foi o mais viável para aplicação, com retorno de 6,86 anos, comparado a 9,78 e 8,91 de 2A e 2B, respectivamente. Tal diferença no payback 1A deve-se ao maior crédito disponível na rede para os meses de maio a julho, em que o BESS não é carregado totalmente. Outro fator relevante foi o alto investimento inicial com o BESS do caso 2 (A e B), cujas tecnologias são consideradas financeiramente inviáveis para o sistema estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Tarifa branca, fotovoltaica, BESS, payback.

TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF PV + BESS IN THE UNIT RESIDENCIAL LOCATED IN TOLEDO-PR

ABSTRACT: Residential electricity consumption is expected to increase by 1.5% per year, linked to an increase in the number of consumers and directly influencing the national energetic balance. There are also weather-related factors that stimulate the investment in alternative sources of energy, which furthermore provide to the consumers benefits from economic savings. Photovoltaics are an intermittent source, which allow the use of energy storage systems, as well as off-grid installation. The PV-BESS system (Photovoltaic System + Battery Energy Storage System) can become a viable option, especially from 2023, the year in which Law No. 14.300/22 will become valid and a taxation of 30% will be applied from the moment of energy injection into the grid. In this context, the objective of the present work is to evaluate the technical and economic use of the PV-BESS system through financial indices such as Payback and ROI (Return of Investment). To carry out the study, we used the design of a photovoltaic system that supplied a demand of 17.25 kWh/day, based on a residence located in Toledo-PR. The consumption dispersion along time was compared to the typical generation profile. The maximum generated power was used in the calculation of the number of modules and then the number of inverters. Based on that and to meet the peak demand, a 10kW BESS was chosen. Three different scenarios were considered, i.e. (1A) a photovoltaic system without BESS in a conventional tariff regime, (2A) a photovoltaic system with BESS in a conventional tariff regime, and (2B) a photovoltaic system with BESS in a white tariff regime. In compliance with the generation of the 9 PV modules and consumption of the residence, the additional generated energy was considered as load to the BESS until its capacity was reached and then the remainder was injected into the network. Within a 25-year scenario and by taking into account Law No. 14,300/22, scenario 1A was the most viable with a return of 6.86 years, compared to 9.78 and 8.91 for 2A and 2B, respectively. The difference in the 1A payback compared to the other scenarios is due to the greater credit obtained from the grid for the months of May and July, in which the BESS is not fully loaded. The high initial investment was another relevant factor for scenarios 2 (A and B) to be considered financially impracticable.

KEYWORDS: White tariff, photovoltaic, BESS, payback.

1 | INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional e os países em reaceleração econômica após o impacto dos dois anos de pandemia do SARS-Cov-2, que afetou vários setores, o Plano Decenal de Expansão da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022) prevê que o consumo no Brasil aumente anualmente 2,5% entre os anos de 2021 e 2031, ou seja, de um consumo de 563 TWh para 792 TWh.

De forma a atender essa demanda, o país ofertou em 2021 674,2 TWh de energia elétrica, atingindo a marca de 172.192 MW de potência instalada. Em observância à matriz energética brasileira, essa produção foi representada majoritariamente pela hidráulica com 63,15%, seguida pela térmica com 21,69%, eólica com 11,39%, solar 2,62% e nuclear com 1,16%.

Tal evolução da composição da capacidade instalada total por fonte pode ser observada na figura 1, na qual a capacidade de instalada em 2021 considera 200 GW e 2031 275W. Verifica-se o aumento em percentual de 2% para 4% em energia solar, 10% para 11% em eólica e de 8% para 17% em APE + GD Renováveis (Autoprodução de Energia + Geração Distribuída Renováveis) [1].

Dentre o consumo de eletricidade em 2021, o residencial obteve 47% da participação, que por consumidor resultou em 165 kWh/mês. A projeção é que a participação alcance 56%, ocasionada pelo crescimento do número de consumidores residenciais (1,5% a.a.), com aumento de consumo médio residencial de 1,7% e autoprodução não injetada de 3,3% por ano, com potencial em alcançar 196 kWh/mês por consumidor ao final de 2031.

O crescimento acompanha também a autoprodução não injetada com 57 TWh em 2021, chegando a 78 TWh em 2031, impulsionado principalmente pelo crescimento da geração solar [1].

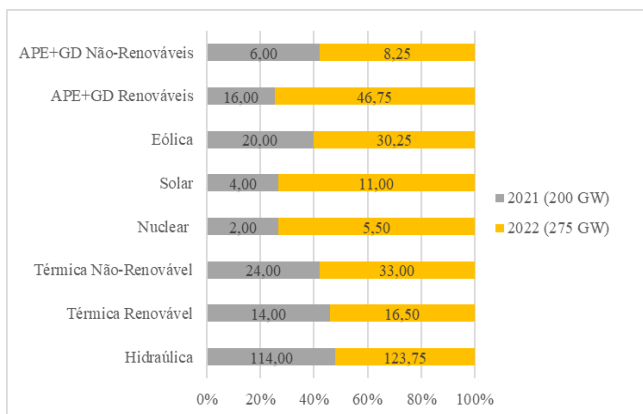


Figura 1: Evolução da participação da matriz energética em potência instalada em GW.

Fonte: Adaptado de [1].

No contexto ambiental e econômico a energia renovável tem se tornado estrategicamente discutida, devido ao crescimento acelerado do consumo e por ser a opção para o desenvolvimento sustentável. A ONU (Organização das Nações Unidas), juntamente com os países, vem trabalhando nos objetivos que visam a contribuir com a sociedade e meio ambiente em uma agenda até 2030, sendo que um dos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) é gerar energia limpa e acessível [2].

A energia solar é uma fonte renovável de produção de eletricidade e nos dias atuais é economicamente competitiva com fontes de energia convencionais, além de tornar promissora a geração distribuída (GD) no país. O processo é conhecido como energia fotovoltaica, em que as matrizes envolvem células solares, que contêm semicondutores, geralmente feitos de silício. Dentre as vantagens de utilização incluem-se a renovabilidade, redução de faturas de energia elétrica, baixo custo de manutenção e menor intensidade de poluição. No entanto, alguns desafios, como dependência do clima e armazenamento de energia limitado pelo custo e grandes requisitos de espaço, ainda dependem do avanço tecnológico e de estudos aprofundados para resolução [3]. No Brasil, a partir de 2023 haverá um desafio adicional para a autoprodução de energia solar, de forma que o consumidor será taxado na injeção de energia para a rede se produzida em excedente [4].

Atualmente, o armazenamento vem ganhando força pelo avanço tecnológico e benefícios adicionais que pode proporcionar através da instalação. Os sistemas de armazenamento podem oferecer diversos serviços para auxiliar as operações dos sistemas elétricos de potência [5], como serviços de *Bulk Energy*, ancillares, de infraestrutura e transmissão, distribuição e gerenciamento de energia do consumidor [6]. Os sistemas de armazenamento químicos estão divididos em armazenamento interno e externo, sendo que as baterias de íon de lítio e chumbo-ácido são as mais utilizadas e são classificadas como baterias de baixa temperatura [5].

Os sistemas de baterias aplicadas à geração distribuída podem reduzir a injeção de energia na rede e contribuir com sistemas residenciais no gerenciamento de suas cargas. Um BESS (*Battery Energy Storage System*) é um sistema composto que inclui componentes de hardware e software de baixo e alto nível, que tem a possibilidade de capturar energia de diferentes fontes, acumulá-la e armazená-la em baterias recarregáveis para uso posterior [7].

Desta forma, o objetivo do presente trabalho é realizar o estudo de viabilidade técnica e econômica da aplicação de sistema fotovoltaico com armazenamento BESS (PV-BESS), com o intuito de suprir o consumo de energia em horário intermediário e de ponta, comparando a utilização da tarifa branca e convencional como regime tarifário.

2 | REVISÃO TEÓRICA

O Plano Decenal de Expansão de Energia prevê um grande crescimento de consumo

ao longo dos próximos anos, que por consequência demanda o aumento da geração, a qual possui tendências de crescimento em relação à energia renovável, que pode sair de 78,1% em 2021 para 84% em 2031, devido ao crescimento das participações de geração por fontes eólicas e solares [1].

Em especial, a energia fotovoltaica, que é dada pela conversão direta da luz solar em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas, possui um crescimento exponencial impulsionado no Brasil pela implantação da Resolução Normativa ANEEL – REN 687/15 (atualização da REN 482/12), que estabelece as condições para o acesso de microgeração (potência até 75 kW) e minigeração (maior que 75 kW) distribuída aos sistemas de distribuição.

Concomitantemente, a REN efetuou a criação do processo de compensação de energia (também conhecido como *Net Metering*), em que o excedente injetado na rede é convertido em créditos de energia, que podem ser utilizados dentro de 60 meses para compensar a conta de energia elétrica [18].

Tal processo de compensação será alterado pela Lei nº 14.300/2022, sendo que escalonadamente este sistema passará da compensação de 1 para 1 (1 kWh para 1 crédito) para uma compensação parcial, o que será equivalente em média a uma redução de 30% do crédito injetado na rede a partir de 2029. Esta taxa começará a valer para projetos implantados a partir do ano de 2023, iniciando a uma taxa de 4,5% do total injetado na rede [4]. A crescente da taxa pode ser observada na tabela 1.

Ano	Taxa [%]
2023	4,5
2024	9,0
2025	13,5
2026	18,0
2027	22,5
2028	27,0
2029	30,0

Tabela 1: Taxa gradativa de desconto Lei 14.300/22.

Fonte: Adaptado de [4].

Para consumidores do grupo B, definido como de baixa tensão, que é caracterizado por Ucs (unidades consumidoras) atendidas em tensão inferior a 2,3 kV, tem-se o custo de disponibilidade, referente à taxa mínima que as concessionárias cobram para o uso da infraestrutura de distribuição. As taxas mínimas para a consumidores monofásicos é de 30kW, para consumidores bifásicos é de 50kW e para trifásicos é de 100kW. A grande e principal mudança da REN 482 para a Lei 14.300/2022 seria referente à duplicidade dos

créditos. Antes esta taxa mínima seria abatida diretamente dos créditos; com a nova lei a taxa mínima deverá ser paga independente dos créditos existentes.[4]

No Brasil, existem dois tipos de tarifas de energia elétrica independentemente do tipo de compensação vigente pela lei: tarifa convencional e branca. A tarifa convencional é estática e é pré-definida com as revisões tarifárias permitidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), junto às distribuidoras de energia elétrica. Por outro lado, a tarifa branca foi proposta com objetivo de estimular o gerenciamento de energia elétrica pelas unidades consumidoras (Ucs) do grupo B, nos horários de ponta, quando há um maior carregamento do sistema. Este estímulo se deve à diferença do valor da tarifa do consumo nos horários de ponta, definidos por cada distribuidora e aprovados pela ANEEL [17]. A exemplo disso a tabela 2 expõe os valores para as tarifas vigentes no estado do Paraná pela COPEL.

Tarifa	Valor [R\$/kWh]	Hora de Vigência
Convencional	0,72807	00 h às 23:59 h
Fora de Ponta	0,61755	21:30 h às 16:30 h
Intermediária	0,86071	16:30 h às 17:30 h / 21:30 h às 22:30 h
Ponta	1,2839	17:30 h às 21:30 h

Tabela 2: Valores tarifários vigentes.

Fonte: Adaptado de [19].

A tarifa branca tornou-se disponível para qualquer faixa de consumo a partir de 2020 e está disponível como opção para os subgrupos B1, com exceção para a subclasse Baixa Renda, B2 e B3 do grupo B. Para fins de tarifação, apresenta três postos tarifários: de ponta, intermediário e fora de ponta [19].

Os sistemas convencionais de energia elétrica (SEEs) são estabelecidos por estruturas de geração centralizada (usinas), as quais geralmente são afastadas dos centros consumidores, sendo necessários sistemas de transmissão, compostos por diversas linhas de transmissão e subestações com capacidade de transmitir elevados montantes de energia, ocorrendo perdas de energia por este processo [9]. A geração de energia solar ampliou o sistema distribuído e os armazenamentos de energia por baterias, e eletrodomésticos inteligentes se tornaram participantes ativos do sistema elétrico [8].

Segundo Jinlei [10], pode-se destacar que as gerações distribuídas (GD) consistem em geradores fotovoltaicos, térmicos de biomassa eólicos e por sistemas de armazenamento de energia por baterias, conhecidos também por BESS (*Battery Energy Storage Systems*). Entre as vantagens da GD incluem-se o alívio de congestionamento de linha, redução global de perdas e aumento da confiabilidade das redes, com redução do consumo em horário de pico. Além disso, os benefícios técnicos incluem controle de tensão e energia

reativa, redução de perdas e a redução de fluxo de corrente na rede de baixa tensão das concessionárias de energia elétrica [11,12]. Dentro do cenário do aumento desse tipo de geração, é necessário um planejamento coordenado das estruturas das fontes de geração, para evitar que ocorram intermitências na conexão ao sistema e instabilidades nas redes de distribuição [13].

Dada a possibilidade de instabilidades no sistema nacional interligado pela GD, o armazenamento de energia pode ser um aliado por possuir a compensação nos casos de intermitência das fontes de geração renovável, podendo incrementar a confiabilidade e segurança no suprimento energético [8]. O interesse em sistemas de armazenamento tem-se dado pelos recentes avanços nas tecnologias empregadas e os benefícios adicionais que podem ser proporcionados com sua implementação, e podem fornecer diversos serviços, como demonstrado na tabela 3.

Serviços	
<i>Bulk Energy</i>	Time-shift de energia elétrica, capacidade de fornecimento de energia
<i>Ancilares</i>	Resposta rápida de frequência, reserva primária e secundária, suporte de tensão
<i>Infraestrutura de transmissão</i>	Adiamento de mudança na transmissão e suporte de tensão
<i>Infraestrutura de distribuição</i>	Adiamento de mudanças na distribuição, suporte de tensão
<i>Gerenciamento de energia consumidor</i>	Confiabilidade de energia, time-shift de compra energia elétrica, gerenciamento pelo lado da demanda, Smart Home Energy Management

Tabela 3: Serviços de armazenamento de energia e relevância.

Fonte: Adaptado de [14].

Sistemas de armazenamento possuem uma amplitude de aplicações possíveis no setor elétrico, no entanto, a atratividade de cada solução específica depende das características e necessidade de cada sistema elétrico. Deve-se considerar o uso de baterias com maior densidade de armazenamento, menor perda durante o processo de carga e descarga, menores taxas de autodescarga, maior número de ciclo de carga e descarga e métodos com menor toxicidade e poluentes para facilitar a logística reversa do material. Os sistemas de armazenamento químicos podem ser visualizados na figura 2 [7].

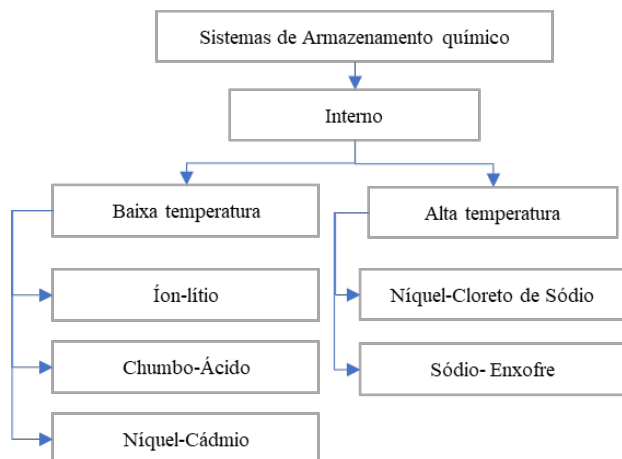


Figura 2: Tipos de sistema químicos de armazenamento de Energia.

Fonte: Adaptado de [7].

A diferença do sistema BESS é que, caso seja necessário, a energia eletroquímica será descarregada da bateria e fornecida às residências, veículos elétricos, instalações comerciais e industriais, além da injeção na rede de distribuição [8]. O BESS pode variar dependendo da eletroquímica ou tecnologia da bateria que é utilizada, sendo que as principais para tal sistema são de sódio-enxofre, bateria de fluxo, chumbo ácido e íon-lítio, sendo esta última a que possui maior representatividade no mercado [9].

A principal vantagem das baterias de Íon-lítio é seu tempo de vida útil, o qual não é influído pelo número de ciclos de carga e descarga [8]. Possuem também uma densidade de potência de aproximadamente três vezes maior que as baterias de chumbo-Ácido e 1,5 vezes maior que a alcalina [15]. Uma das principais vantagens do BESS é o gerenciamento, que pode aumentar a vida útil da bateria e a estimativa de estado de carga (SOC), sendo que SOC é a razão entre a capacidade residual e a capacidade total da bateria [16]. Além disso, outras vantagens do BESS que podem ser citadas são o carregamento rápido e eficiente, elevado rendimento, baixa taxa de descarga automática e baixa manutenção [8].

Diferentes estudos foram realizados nos últimos anos para aplicação do BESS em sistemas fotovoltaicos de geração distribuída. Segundo Deotti et. al [23] o payback foi de aproximadamente 20 anos para um sistema no qual o BESS é de 9,9 kWh, de acordo com estudo realizado em 2020. Por outro lado, Matias [24] utilizou um sistema convencional de armazenamento (chumbo-ácido sem gerenciamento de energia), aplicando este nos horários de ponta e intermediário, obtendo um payback de 5,5 anos. Já por Costa [25], foram considerados diversos cenários no contexto brasileiro, em que os consumos analisados para suprimeto variavam de 500 kWh a 1000 kWh, utilizando-se diversas tecnologias de armazenamento. Demonstrou-se que nenhuma alternativa com armazenamento era viável financeiramente.

3 I METODOLOGIA

A fim de determinar a energia gerada e consumida com SFV *versus* a geração e consumo utilizando SFV + BESS, é necessário o dimensionamento de ambos os sistemas. É considerada a geração dos sistemas suficientes para suprir a demanda da residência, mas ao mesmo tempo não realizar o sobredimensionamento.

O cálculo da potência de pico do SFV necessário para atender o consumo e/ou a carga do BESS é estabelecido pela equação 1, a qual considera o BESS para atender os horários de ponta e intermediário, e injetando-se na rede o excedente [21].

$$\text{Potência de pico: } P_{FV} = \frac{E}{HSP_{MA}} * \frac{1}{TD} \quad (1)$$

Em que: E é o consumo diário médio anual da residência [Wh/dia]; HSP_{MA} é média anual das horas de plano Sol incidente no plano do SFV [h]; TD é a taxa de desempenho do SFV.

A variável TD da equação 1 determina vários aspectos que influenciam o sistema como um todo. Considera-se a potência real do sistema sob condições de operação e todas as perdas envolvidas, como perdas por queda de tensão, ocasionadas pela resistência de conectores e cabeamento, sujeira na superfície do painel, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, descasamento (*mismatch*) entre módulos de mesmo modelo, dentre outros [21].

Após a determinação da potência total do SFV, dimensiona-se o inversor. Para a seleção do modelo de inversor observam-se os valores de corrente e tensão que são fornecidos pelos módulos fotovoltaicos; estes devem ser menores que o valor da entrada do inversor. Não obstante, o valor de potência deve respeitar o valor dado pelo FDI (Fator de Dimensionamento do Inversor), descrito pela equação 2.

$$\text{Fator dimensionamento do inversor: } FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} \quad (2)$$

Em que: P_{Nca} é a potência nominal em CA do inversor [W]; P_{FV} é a potência de pico do SFV [W_p].

De acordo com Pinho e Galdino [21] o inversor deve ser dimensionado para não trabalhar em potências muito abaixo da nominal por períodos prolongados, recomendando-se valores de FDI com limite inferior na faixa de 0,75 a 0,85, enquanto o limite superior pode chegar ao limitante de 1,05.

Para calcular a quantidade de módulos necessários em série que atendem a potência de projeto, utiliza-se a equação 3.

$$\text{Número de módulos: } N_{modulos} = \frac{P_{FV}}{P_{modulo}} \quad (3)$$

Em que: P_{modulo} é a potência nominal de pico do módulo [W_p];

Com número de módulos definido é determinado a quantidade de inversores para o sistema pela equação 4.

$$\text{Quantidade de Inversores: } NI = \frac{N_{modulos} * P_{FV}}{P_{Nca}} \quad (4)$$

Para garantir que o inversor seja compatível, verifica-se a tensão e corrente CC

máxima de entrada que deve permanecer dentro da faixa de operação. A equação 5 determina a quantidade de fileiras que podem ser conectadas em paralelo.

$$\text{Número strings paralelas: } N_{\text{strings, paralelo}} \leq \frac{I_{\text{imáx}}}{I_{\text{ISC}}} \quad (5)$$

Em que: I_{ISC} é a corrente de curto circuito do modulo fotovoltaico [A]; I_{imax} é a corrente CC admitida na entrada do inversor [A].

Para o dimensionamento do BESS, que possui a finalidade de reduzir a utilização de energia da rede, é necessário encontrar o consumo que corresponde aos horários de pico e intermediário. Desta forma, utilizam-se as equações 6 e 7.

$$\text{Capacidade do BESS: } CB = \frac{L_m \cdot N}{P_d} \quad (6)$$

$$\text{Capacidade em Amperes por hora: } CBI = \frac{CB}{V_{\text{sist}}} \quad (7)$$

Em que: L_m é a energia média diária consumida [Wh/dia]; N é o número de dias de autonomia; V_{sist} é a tensão do sistema [V]; e P_d é a máxima profundidade de descarga da bateria [%].

Posteriormente dimensiona-se o número de baterias em paralelo para que a corrente do circuito satisfaça a alimentação do sistema, conforme equação 8.

$$\text{Número baterias paralelas: } N_{\text{bat, paralelo}} = \frac{CBI}{CBI_{\text{bat}}} \quad (8)$$

Em que: CBI_{bat} é a capacidade da bateria selecionada no mesmo regime de descarga do valor calculado para CBI [Ah].

Após obter o dimensionamento do sistema de armazenamento e de geração fotovoltaica, é necessário verificar qual a quantidade de energia gerada mensalmente, conforme equação 9.

Energia gerada mensal:

$$EGM = IM * PI * \eta * 30 \text{ dias} \text{ [kWh/m}^2\text{mês]} \quad (9)$$

Em que: IM é a irradiação mensal [kWh/m²dia]; PI é a potência instalada [kWp]; η é o rendimento [%].

Para a energia compensada é utilizada a equação 10.

$$\text{Energia compensada: } EC = CM * TL \text{ [kWh/mês]} \quad (10)$$

Em que: CM é o consumo médio [kWh/mês]; TL é o tipo de ligação [kWh].

Quando o consumo é menor que a geração, existe a inserção de energia na rede, que é convertida em créditos, os quais podem ser obtidos por meio da equação 11.

$$\text{Créditos gerados: } CRE = EGM - CM \text{ [kWh/mês]} \quad (11)$$

Em que: EGM é a energia gerada mensal [kWh/mês] e CM é o consumo médio [kWh/mês];

Entretanto, para utilização de BESS no sistema, os créditos são calculados de maneira diferente, ou seja, a energia que não é consumida passa a ser injetada no BESS. Estes créditos podem ser obtidos por meio da equação 12.

$$CRE = EGM - CMh - IB \text{ [kWh/mês]} \quad (12)$$

Em que: CMh é o consumo horário [kWh] e IB é a injeção para o BESS [kWh].

Para o carregamento do BESS foi determinado que o excedente do consumo horário seja injetado no BESS, armazenando a energia necessária para suprimento em horário intermediário e de ponta, calculado pela equação 13.

$$IB = EGM - CMh \quad [\text{kWh/mês}] \quad (13)$$

A viabilidade econômica é determinada a partir do tempo de retorno financeiro, conhecido também como *payback* e o retorno sobre o investimento *ROI*. Primeiramente, para o cálculo financeiro é necessário encontrar o custo dos sistemas dimensionados, para saber o investimento inicial. Na sequência o fluxo de caixa deve ser calculado ano a ano, como demonstrado na tabela 4. É inserido o investimento inicial (*I*) que é o valor da implantação do projeto, para cada caso do presente estudo. As receitas são definidas como economia anual da fatura de energia quando comparadas ao consumo sem o sistema. As despesas são os valores ainda pagos em eventuais faturas e taxa mínima. O VPL ou valor presente líquido pode ser obtido neste fluxo de caixa, conforme demonstrado.

<i>n</i>	<i>F</i>	<i>CO</i>	<i>FC</i>	<i>VPL</i>
0			$-I_n$	$-I_n$
1	F_n	CO_n	$FC_{n-1} + (F_n - CO_n)$	$-I_{n-1} + FC_n$
2			$FC_{n-1} + (F_n - CO_n)$	$VPL_{n-1} + FC_n$
....				
25				$VPL_n = VPL_{n-1} + FC_n$

Tabela 4: Fluxo de caixa com equações de índices econômicos.

Fonte: o autor, 2022.

Em que *n* é dado pelo período de cálculo (ano), *F* é determinado como a fatura anual sem sistema fotovoltaico para suprimento, *CO* é o custo de operação anualizado, *FC* é dado como *fluxo de caixa*.

O tempo de retorno do investimento ou *payback* indica quando o lucro acumulado é maior que a despesa. Para calcular este indicador deve-se conhecer o *FC* conforme a equação 14. Quanto menor o período, mais atrativo é o investimento.

$$Payback = n_+ - \left(\frac{VPL_{n-1}}{FC_{n+}} \right) \quad (14)$$

Em que n_+ é tido como o primeiro período no qual o *VPL* foi positivo.

Ao final é determinado o *ROI* com a equação 15. Este cálculo obtém o retorno previsto ao final do período de projeto, o qual indica o valor de retorno, em reais, para cada R\$ 1,00 investido.

$$ROI = \frac{\sum_n^0 FC - I_0}{I_0} \quad (15)$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o foco em atender consumidores residenciais, utilizam-se como base os dados de consumo obtidos da Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL, levantamento realizado como curva típica de consumo para clientes residenciais, conforme figura 3. É observado o consumo em horários Fora de Ponta (FP), Intermediário (I) e de Ponta (P) (tabela 2), assim é possível dimensionar um sistema de armazenamento (BESS) com o objetivo de suprir os consumos dos horários I e P que representa 43% da carga diária. O consumo médio diário deste caso resulta em 17,25 kWh.

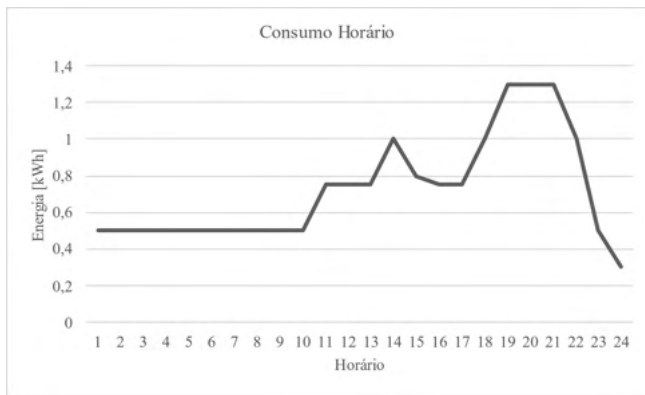


Figura 3: Dados de consumo horário de um consumidor típico residencial.

Fonte: Adaptado de [22].

A localidade de projeto selecionada é o município de Toledo, no oeste do estado do Paraná. Com a localidade determinada, utilizando sistema de geolocalização através de coordenadas 24,701° S; 53,749° O, obtêm-se os dados de irradiação média diária da CRESESB, sendo utilizada a média diária para o ângulo igual a latitude em inclinação de 25°N, e a média anual obtida é 5,00 kWh/m².dia. A distribuição de irradiação mensal pode ser visualizada na tabela 5.

Dado todo este contexto, o presente estudo consiste em determinar a viabilidade técnica e econômica para três possíveis cenários no consumo já proposto e localidade:

Caso 1A: Levantamento técnico de um sistema fotovoltaico bem como análise de geração e tempo de retorno financeiro, levando em consideração a tarifa convencional.

Caso 2A: Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para atendimento total do consumo com proposta de carregamento do BESS em horário de geração, para que o banco de baterias possa atender o consumo em horário intermediário e de ponta, juntamente com análise de geração e tempo de retorno financeiro, considerando tarifa convencional.

Caso 2B: Foi realizado o mesmo trabalho que no caso 2A, entretanto com regime de cobrança em tarifa branca.

O principal determinante diferencial destes casos é a utilização do BESS como suprimento em horários intermediário e de ponta e o regime tarifário.

Mês	Irradiação solar diária mensal (kWh/m².dia)
<i>Janeiro</i>	5,62
<i>Fevereiro</i>	5,37
<i>Março</i>	5,40
<i>Abril</i>	4,98
<i>Maio</i>	4,26
<i>Junho</i>	3,97
<i>Julho</i>	4,14
<i>Agosto</i>	5,08
<i>Setembro</i>	4,77
<i>Outubro</i>	5,13
<i>Novembro</i>	5,55
<i>Dezembro</i>	5,72

Tabela 5: Dados relativos à irradiação no plano inclinado na latitude de Toledo.

Fonte: Adaptado de [20].

Para os cálculos financeiros deste projeto considera-se a média de acréscimo 8,135% a.a. (média entre 2011-2021) no valor das tarifas mencionadas na tabela 2.

Com os dados já apresentados de média de consumo, irradiação seguindo a metodologia e considerando uma taxa de desempenho de 80% obtém-se a potência de pico instalada pela equação 1, seguida da seleção do módulo disponível para instalação. O módulo selecionado para atender à necessidade dos cenários foi de marca Canadian de potência 540W, não sendo necessária a utilização de muitos módulos devido a potência. A partir da equação 3 é determinado o número de módulos para o cenário em geral apresentado na tabela 6.

Parâmetro	Valor
Potência CC	4,7 kWp
Número de módulos	9
Potência máxima	540 Wp
Número de células	144
Tensão de operação	41,3 V
Corrente de operação	13,08 A
Tensão de circuito aberto	49,2 V
Corrente de curto circuito	13,90 A

Eficiência	21,1%
------------	-------

Tabela 6: Dados de entrada e características principais do módulo selecionado.

Fonte: o autor, 2022.

Para seleção do inversor foi utilizada a equação 2 apresentada na seção anterior, a qual necessita de uma pré-seleção de inversor. Diante deste fato, este projeto utilizará um inversor capaz de tornar o carregamento do BESS possível, conforme tabela 7. O inversor selecionado tem esta capacidade de atuar de forma híbrida pois o possui controlador *battery management system* – BMS.

Para o caso de estudo 2, é necessária a seleção de um BESS disponível no mercado que atenda as especificações necessárias para cumprir com o objetivo de garantir o fornecimento de energia em horários intermediário e de ponta no sistema. Conforme já mencionado o perfil de consumo nestas faixas de horário representa cerca de 43% do consumo total diário, sendo aproximadamente 7,4 kWh. Foi considerado o carregamento e descarga diária do BESS e, portanto, N possui o valor 1. Os valores encontrados nas equações 6, 7 e 8 determinam a seleção do sistema de armazenamento e são demonstrados na tabela 8.

Parâmetro	Valor
Potência do Inversor	5 kW
Marca	Growatt
Modelo	SPF 5000 ESG
Quantidade	1
Área de telhado necessária	23,2 m ²

Tabela 7: Características principais do Inversor selecionado.

Fonte: o autor, 2022.

Parâmetro	Valor
CB	8,2 kWh
CBI	160 Ah
$N_{bat,paralelo}$	1

Tabela 8: Parâmetros calculados do sistema de armazenamento.

Fonte: o autor, 2022.

Logo a seleção do sistema de armazenamento pode ser observada na tabela 9.

Parâmetro	Valor
Marca	Energy Source
Modelo	Modelo 51,2 V 200 Ah 10 kWh
Material	LiFePO4 (Lítio Ferro Fosfato)
Capacidade da bateria	10 kWh
Profundidade de descarga	90%

Tabela 9: Características principais do BESS selecionado.

Fonte: o autor, 2022.

A geração de energia em um ano é estimada através da equação 8, obtendo o valor médio anual de 6922 kWh, gerados em ambos os casos. A curva de geração mensal versus o consumo pode ser observada na figura 4. Verifica-se que nos meses de maio, junho e julho o consumo supera a geração. O pico de geração é em janeiro e dezembro devido a maior irradiação solar.

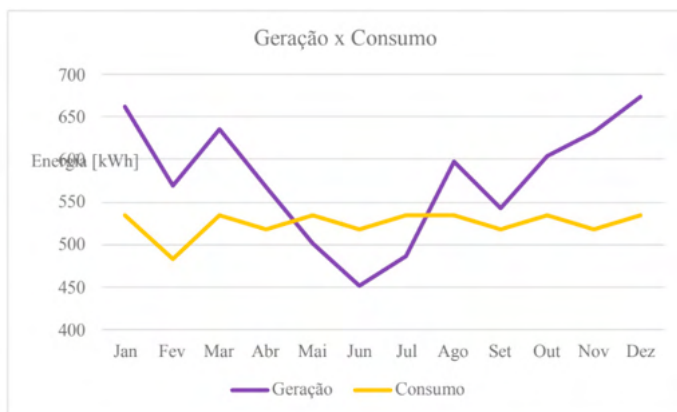


Figura 4: Consumo e geração para os sistemas propostos.

Fonte: o autor, 2022.

Nos meses em que se obtém um superávit são gerados créditos para serem abatidos nos consumos posteriores. De acordo com a figura 5, para todos os anos geram-se créditos de janeiro a maio. Para cada ano representado nesta curva, há um decréscimo dos créditos que são injetados na rede. Isto ocorre devido à Lei nº 14.300/2022. A taxa de desconto foi representada na tabela 1. Ou seja, caso o valor de energia na figura 5 esteja negativo o consumidor efetua o pagamento da fatura, pois consome da rede sem créditos para serem abatidos; esta análise é anualizada e revertida para os índices financeiros.

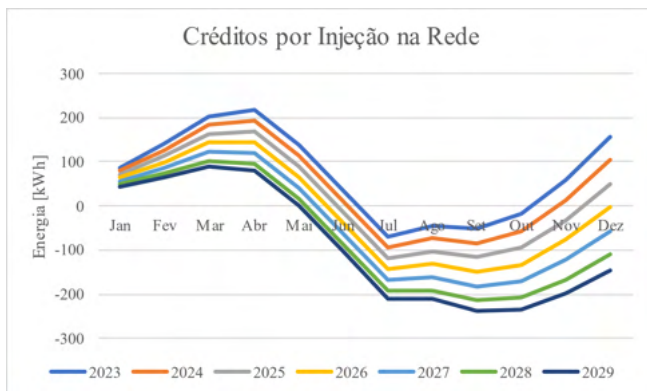


Figura 5: Créditos por Injeção na rede anualizados considerando a Lei 14.300/22.

Fonte: o autor, 2022.

No Caso 2, no qual se tem a utilização do BESS para suprimento de energia, faz-se necessário o cálculo de injeção acumulada horária de energia excedente ao autoconsumo no BESS. Os resultados podem ser visualizados na figura 6.

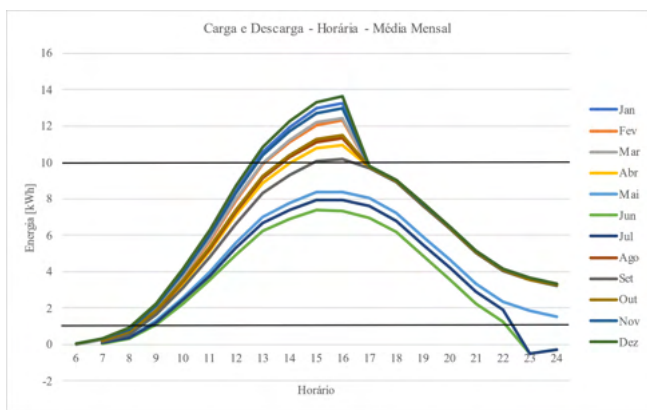


Figura 6: Média horária de carga e descarga do BESS.

Fonte: o autor, 2022.

Na figura 6 foi definido o *target* máximo de carregamento conforme a capacidade do BESS selecionado e o mínimo que vai até a profundidade de descarga do equipamento, setada pelo fabricante como 90%, ou seja, dos 10 kWh injetados no BESS, somente 9 kWh poderão ser efetivamente consumidos. Nesta mesma curva nota-se que, exceto para os meses de maio, junho e julho, há um excedente injetado na rede, e em junho e julho é necessário consumir dos créditos.

Realizados os levantamentos técnicos para os casos, a próxima etapa do processo de definição da melhor alternativa entre os casos estudados é definir os índices econômicos

do projeto. Portanto, primeiramente foi realizado o levantamento orçamentário, ou seja, o investimento necessário para o sistema. Os dados são apontados na tabela 10.

Material	Quantidade	Valor Unitário	Caso 1A	Caso 2A e 2B
Módulos	9	R\$ 1.349,00	R\$ 12.141,00	R\$ 12.141,00
Materiais (Sistemas de fixação e Cabos)	18	R\$ 200,00	R\$ 3.600,00	R\$ 3.600,00
Inversor	1	R\$ 8.800,00	R\$ 8.800,00	R\$ 8.800,00
Bateria	1	R\$ 22.500,00	X	R\$ 22.500,00
Projeto e Instalação		R\$ 6.500,00	R\$ 6.500,00	R\$ 6.500,00
Total			R\$ 31.041,00	R\$ 53.541,00

Tabela 10: Orçamento de itens para o projeto.

Fonte: o autor, 2022.

Com estes dados de produção foi possível calcular os índices financeiros, que podem ser visualizados a seguir na tabela 11.

Indicadores	Caso 1A	Caso 2A	Caso 2B
Investimento	R\$ 31.041,00	R\$ 53.541,00	R\$ 53.541,00
VPL	R\$ 277.967,57	R\$ 278.876,39	R\$ 330.708,81
Payback descontado (anos)	6,86	9,78	8,91
ROI	R\$ 10,95	R\$ 7,20	R\$ 8,17

Tabela 11: Índices econômicos.

Fonte: o autor, 2022.

Observando os indicadores listados na tabela 11 é notável que o Caso 1A possui vantagens significativas com relação aos outros cenários, devido ao fato de seu *payback* ocorrer de forma rápida, resultando em 6 anos e 10 meses e também retornando um ROI bem atrativo. O *payback* do Caso 2A é considerado o mais longo; este fato pode ser analisado devido ao investimento alto com relação ao Caso 1A, justificado pelo uso da tecnologia BESS. O ROI do Caso 2B é considerado atrativo; isso ocorre pelo gerenciamento da carga juntamente com a Tarifa Branca vigente, na qual os consumos realizados da rede possuem um valor tarifário reduzido quando comparado com a tarifa aplicada no Caso 1A.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para um projeto de um sistema fotovoltaico ser considerado viável, é necessário atender aos indicadores econômicos, da mesma forma que deve atender aos requisitos

técnicos, obedecendo-se os cálculos apresentados na metodologia e respeitando-se as normas vigentes. Deve-se considerar as condições do cliente, como, por exemplo, sua localidade.

Neste estudo de caso, através dos índices econômicos, o Caso 1A é considerado o mais viável, devido ao fato do *payback* de 6,86 anos ser o menor e o *ROI* o maior, ou seja, a cada real investido tem-se R\$ 10,95 de retorno ao final do projeto. Nos Casos 2A e B, o que não os torna tão atrativos ainda é o alto investimento inicial agregado ao sistema de armazenamento, que, por sua vez, pelo *data sheet* do fabricante do BESS, limita a vida útil do sistema de armazenamento de 10 a 13 anos, sendo necessário um novo investimento na tecnologia.

Verificou-se a importância da consideração de um BESS em sistemas de baixa tensão quando o consumo e geração são analisados hora a hora, dado que outros estudos ou focaram no BESS com premissas diferentes ou não utilizaram a mesma tecnologia abordada. Ademais não consideraram a nova legislação.

Analisou-se que a Lei nº 14.300/22 influencia de forma negativa, resultando em um maior tempo de retorno financeiro. Outros estudos podem ser realizados modificando-se o tipo de tecnologia utilizada e caso novos incentivos governamentais sejam implantados ao longo dos anos para utilização da energia renovável, aplicando-se sistemas de armazenamento como opção à intermitências destas fontes.

REFERÊNCIAS

[1] EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031** / Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2022.

[2] NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>>. Acesso em: 10 de jul. 2022.

[3] J. WESLEY BURNETT, FRANK HEFNER. Solar energy adoption: A case study of South Carolina, **The Electricity Journal**, Volume 34, Issue 5, 2021, 106958, ISSN 1040-6190.

[4] DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022**. 2022. Disponível em : <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>> Acesso em: 13 jul. 2022.

[5] BUENO, A. F. M.; BRANDÃO, C. A. L. Visão Geral de Tecnologia e Mercado para os Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica no Brasil. **Abaque**, [S. l.], p. 62, 2016.

[6] IRENA. Future role of Distribution system operators. [S. l.], p. 1–20, 2019 b..

[8] DE AZEVEDO, Rodrigo Motta. Matheurística dinâmica e pro-ativa integrada a inversores híbridos para o gerenciamento robusto de recursos energéticos distribuídos. **Universidade Federal de Santa Maria**, p. 136, 2020.

- [9] CANTANE, D. A.; ANDO JUNIOR, O. H.; HIAMERSCHIMIDT, M. B. **Tecnologias de Armazenamento de energia Aplicadas ao Setor Elétrico Brasileiro**. Editora Scienza. São Carlos: 2020. 212 p.
- [10] S. JINLEI et al. Economic Operation Optimization for 2nd Use Batteries in Battery Energy Storage Systems. **IEEE**, v. 7, p. 41852–41859, 2019.
- [11] PEREIRA, B. R. et al. Optimal Distributed Generation and Reactive Power Allocation in Electrical Distribution Systems. **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, v. 7, n. 3, p. 975–984, 2016.
- [12] TOORIAN, H.; NOURIAN, S. Analysis and modeling of the distributed generation impact on electricity market prices. *EEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*. **Anais...IEEE**, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/EEEIC.2016.7555801>>.
- [13] GAO, Y. et al. Multi-Objective Bilevel Coordinated Planning of Distributed Generation and Distribution Network Frame Based on Multiscenario Technique Considering Timing Characteristics. **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, v. 8, n. 4, p. 1415–1429, out. 2017.
- [14] IRENA. Innovation landscape brief: Future role of distribution system operators. *Irena*, v. b, p. 1–20, 2019.
- [15] CHENG, M. W. et al. State-of-charge estimation with aging effect and correction for lithium-ion battery. **IET Electrical Systems in Transportation**, v. 5, n. 2, p. 70–76, 1 jun. 2015.
- [16] CHEN, L. et al. Analysis and prediction of the discharge characteristics of the lithium-ion battery based on the Grey system theory. **IET Power Electronics**, v. 8, n. 12, p. 2361–2369, 1 dez. 2015.
- [17] LAWSON, A.; WEISS, M. **Tarifa Branca: oportunidades em meio a incertezas**. 2018
- [18] **RESOLUÇÃO NORMATIVA No 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>.
- [19] COPEL. 2022. **Tarifas de energia elétrica**. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/grupoB>. Acesso em: 19 jul 2022.
- [20] CRESESB. **Potencial Solar Sun Data 3.0v**, 2022. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 17 de jun. 2022
- [21] PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia FV 2014**. 2014.
- [22] ANEEL. Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL: Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. **Aneel**, p. 26, 2017a.
- [23] Deotti, L.; Guedes, W.; Dias, B.; Soares, T. Technical and Economic Analysis of Battery Storage for Residential Solar Photovoltaic Systems in the Brazilian Regulatory Context. **Energies** **2020**, 13, 6517. <https://doi.org/10.3390/en13246517>
- [24] Matias, J. A. C. **Modelos de utilização para sistema fotovoltaico com armazenamento de energia em baterias em baixa tensão**. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Curitiba. p-96, 2019.

[25] V. Costa, A. C. Z. De Souza and P. F. Ribeiro, "Economic Analysis of Energy Storage Systems in the Context of Time-of-Use Rate in Brazil," 2019 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM40551.2019.8973979.

CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO URBANO: UM ESTUDO DE CASO A PARTIR DE RELATÓRIOS GERADOS UTILIZANDO UM BANCO DE DADOS CADASTRAIS

Data de aceite: 01/09/2022

Alexandre Rabello Ordakowski

Universidade do Estado de Mato Grosso
(UNEMAT)
Colíder – MT – Brasil

Jonata S. Rodrigues

Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Curitiba – PR – Brasil

Marcelo Leandro Holzschuh

Universidade do Estado de Mato Grosso
(UNEMAT)
Sinop - MT – Brasil

RESUMO: O Cadastro Técnico (CT) dos municípios de pequeno e médio porte é, de certa forma, a principal ferramenta para a gestão territorial. Este artigo retrata a múltipla finalidade deste CT (Denominada por Cadastro Técnico Multifinalitário - CTM) a partir do desenvolvimento de um software voltado a criação de relatórios do mesmo, sendo, a posteriori, sua validação feita através de um estudo de caso. Ademais, no desenvolvimento são apresentados a análise de requisitos, a implementação do software, a descrição dos relatórios e o estudo de caso. A partir da referida pesquisa, é visto claro e concisamente a importância do processamento dos dados do CTM e geração de relatórios para a resolução de questionamentos que auxiliam o gestor na tomada de decisão.

ABSTRACT: This paper describes the results of the development of an application for the

creation of reports of the Multifinality Technical Register and its validation through a case study. In the development are presented the analysis of requirements, the programming of the software, the description of the reports and the case study. In the conclusion of this work we emphasize the importance of the processing of the data of the Multifinality Technical Register for the resolution of questions that assist the manager in the decision making.

1 | INTRODUÇÃO

Na época atual, em prefeituras de pequeno e médio porte, o Cadastro Técnico (CT) é a principal ferramenta voltada à gestão territorial e cálculo de impostos. Porém, devido ao grande volume de dados contidos no Banco de Dados (BD) do Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano (CTMU), o torna custoso e sua utilização pode ser voltada ao auxílio no planejamento e tomada de decisão.

Com o intuito de evidenciar as múltiplas finalidades do Cadastro Técnico Multifinalitário, a realização deste trabalho tem o objetivo de apresentar, através de um módulo de software, informações contidas no CTMU que possam auxiliar o gestor municipal no planejamento urbano. Este software, a posteriori, será integrado a um CTMU que vem sendo desenvolvido por acadêmicos e professores da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) desde 2013. Por conseguinte, os

testes de uso e das funcionalidades do software foram realizados através de um estudo de caso. Ademais, foi realizado a inserção de dados fictícios na base de dados do CTMU e, após, foram gerados os relatórios, contendo informações que visam auxiliar o gestor na tomada de decisões.

Como resultados desse trabalho tem-se a ferramenta, os relatórios e a comprovação de que uma grande massa de dados, como a do Cadastro Técnico, o qual pode ser utilizada para fins que vão além dos de controle fiscal e de propriedade, isto é, o cadastro pode servir também como ferramenta para inúmeros setores da administração pública, atuando nas áreas de planejamento, resolução de questionamentos, verificação prévia de consequências de obras, impacto de decisões tomadas pela diretoria, entre outros casos.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM)

O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) é considerado uma ferramenta responsável por garantir os direitos reais, efetuar uma justa e equitativa distribuição das cargas fiscais e servir de base indispensável para o planejamento do ordenamento territorial e da obra pública (ERBA et al., 2005).

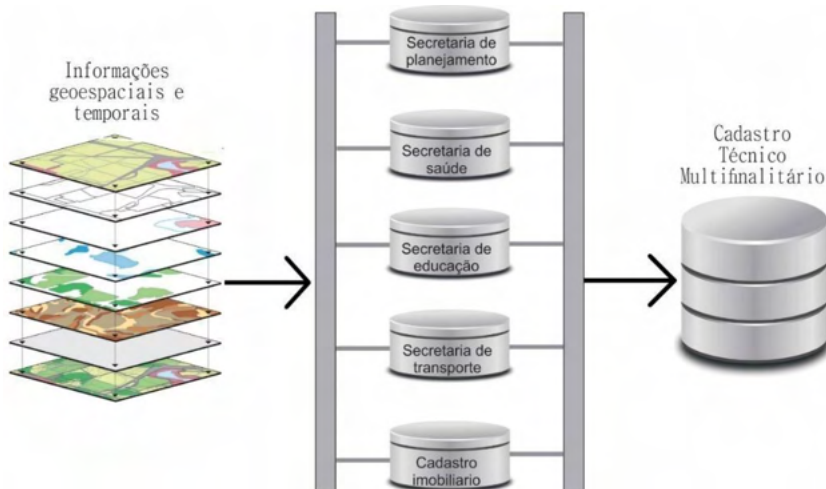


Figura 1: Representação do Cadastro Técnico Multifinalitário em um banco de dados.

Fonte: Autoria própria.

De acordo com Chiarello (2016), as funções do cadastro podem ser classificadas em:

- Fiscal: o aspecto fundamental é a identificação do proprietário e da proprieda-

de. O objetivo geral é o valor da propriedade e sua taxação.

- Jurídica: refere-se ao direito à propriedade e registro do imóvel ou da propriedade;
- Multifinalitário: refere-se às múltiplas aplicações, principalmente ao planejamento urbano e regional. Serve de base à tomada de decisões.

Na Figura 1 é ilustrado a representação de um CTMU, onde o mesmo é classificado como conjuntos de dados de diversas áreas, neste caso, as secretarias, com informações geográficas e temporais. Nesse contexto, é indispensável que se entenda os conceitos de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), de modo que fique explícito sobre a importância do cadastro no planejamento urbano.

2.2 Sistemas de Informações Geográficas

Segundo Raper e Maguire (1992 *apud* LONGLEY, 2013), SIGs são “sistemas computacionais capazes de capturar, armazenar, consultar, manipular, analisar, exibir e imprimir dados referenciados espacialmente sobre/sob a superfície da Terra”. Sendo assim, é possível utilizar SIGs na resolução de problemas simples, como a definição do melhor caminho para ir ao trabalho ou em problemas mais complexos como a verificação dos impactos de uma obra pública.

As áreas de aplicação de um SIG são definidas por Ramirez (1994, *apud* LISBOA FILHO, 1995) em cinco grupos principais: Ocupação humana, uso da terra, uso de recursos naturais, meio ambiente e atividades econômicas. Dentre estes, enfatiza-se a ocupação humana, que discorre sobre as áreas de Planejamento e Gerenciamento Urbano, Saúde e Educação, Transporte e Segurança (LISBOA FILHO, 1995).

2.3 Banco de dados (BD)

Um Banco de Dados (BD) é uma coleção de dados armazenados em um local de modo que possamos recuperá-los, para, posteriormente, serem utilizados pelos sistemas de aplicação de uma determinada organização (DATE, 2003). Seguindo a premissa do autor supracitado, podemos compreender que um BD é a estrutura responsável por guardar registros individuais de transações que se relacionam e podem ser inseridos, recuperados ou excluídos a qualquer momento. Para a manipulação destes registros é utilizado um SGBD.

3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente foram realizadas pesquisas bibliográficas para o levantamento do referencial teórico, à descoberta do que já foi desenvolvido sobre o Cadastro Técnico Multifinalitário em Colíder e o estudo das ferramentas escolhidas para o desenvolvimento da ferramenta computacional.

Subsequentemente, foi feita uma entrevista com o Secretário de Infraestrutura

e Obras do município de Colíder-MT, visando obter informações sobre a utilização do cadastro técnico no município. Com o resultado da entrevista desenvolveu-se a análise dos requisitos necessários à ferramenta.

Utilizou-se de uma metodologia de Programação Extrema (do inglês XP - *eXtreme Programing*), visando o desenvolvimento de software ágil que foca na priorização das funcionalidades e satisfação do cliente, no entanto a XP não foca questões de design (SHARMA; WADHWA, 2015). A Linguagem de Programação (LP) Java será utilizada no desenvolvimento do software. Essa linguagem foi elaborada no conceito de programação orientada a objetos, o que permite a reutilização de classes e componentes já desenvolvidos, além de contar com inúmeras bibliotecas *open-source* auxiliando a “construção de sistemas mais confiáveis e eficientes, porque classes e componentes existentes costumam passar por extensos testes, depuração e ajuste de desempenho” (DEITEL, 2017). Partindo deste princípio, utilizamos o *framework* JasperReports 5.1.2 juntamente com o *plugin* iReport 5.5.1 para o desenvolvimento da estrutura dos relatórios.

O SGBD escolhido no desenvolvimento deste trabalho foi o PostgreSQL 9.3, devido a capacidade de manipulação de dados geográficos por meio de sua extensão espacial PostGIS.

Por fim, para a realização de um estudo de caso e consequentemente da validação da aplicação, foram inseridos diversos de dados na base do CTMU, e em seguida, geraram-se relatórios que respondessem uma série de questionamentos pré-definidos.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise de requisitos

Para a captura e compreensão dos requisitos funcionais da aplicação que foi desenvolvida, aplicou-se um questionário qualitativo com as partes interessadas, no caso o Secretário de Infraestrutura e Obras de Colíder. A partir das respostas obtidas, foi elaborada uma tabela com os requisitos funcionais esperados no produto final.

Requisito	Tipo
O sistema deve permitir que o usuário realize pesquisas, delimitando os dados por localização ou tipo.	Funcional
O sistema deve mostrar em uma tabela o resultado prévio das consultas.	Funcional
O sistema deve gerar os relatórios e os gráficos das consultas específicas do usuário.	Funcional
O sistema deverá criar uma janela de visualização que permita o usuário salvar ou imprimir o relatório.	Funcional

Tabela 1: Requisitos Funcionais.

Fonte: Autoria Própria.

A partir desta entrevista ficou subentendido que a principal necessidade que o produto final deve atender é a recuperação dos dados contidos no Cadastro Técnico Multifinalitário de forma padronizada e objetiva, gerando assim informação estratégica de fácil compreensão.

4.2 Desenvolvimento

O método de desenvolvimento de software adotado neste projeto foi o XP, por tornar o processo de programação ágil quando não existem muitos custos e perdas na realização de mudanças. Portanto é necessário compreender exatamente o que o cliente espera do produto final, para isso devemos constantemente planejar, codificar, testar e refatorar o código-fonte.

Todas as telas de geração de relatórios do software apresentam itens semelhantes, como a Caixa de Combinação (do inglês *ComboBox*), que serve para exibir uma lista de todas as opções contidas naquele filtro, o Campo de texto (do inglês *TextField*), que se trata de uma caixa para pesquisa de palavras chave auxiliando o usuário a encontrar o registro buscado, e o Botão (do inglês *Button*), que dentre suas diversas funcionalidades destaca-se a de disparar a ação de gerar o relatório escolhido.

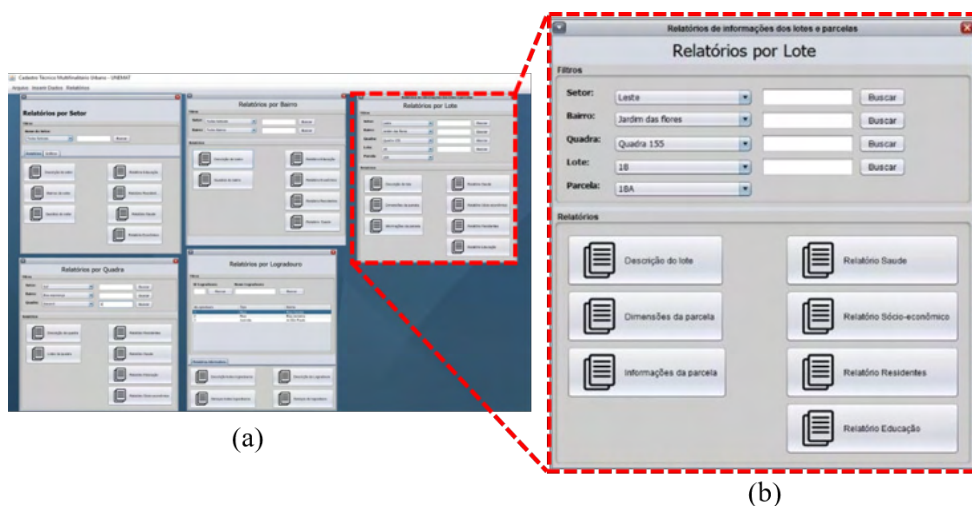


Figura 2: (a) Telas do software de geração de relatórios; (b) Tela de geração de relatórios por lote.

Fonte: Autoria própria.

Foi prioridade no desenvolvimento do sistema torna-lo o mais simples e intuitivo o possível, a vista disso, as telas dos relatórios foram divididas por áreas que se aprofundam de acordo com a necessidade do usuário. A aplicação contém os seguintes formulários: Setor; Bairro; Quadra; Lote e Logradouro. Na próxima serão abordados quais sobre os tipos de relatórios produzidos por cada tela específica.

4.3 Relatórios

A aplicação conta com 39 modelos de relatórios que apresentam dados das seguintes áreas: Cadastro Básico, Tributação, Transporte, Educação, Saúde Pública, Dados Socioeconômicos e Muncípe.



Figura 3: (a) Relatórios relacionados à diversas áreas do CTM; (b) Relatório de dados da área de Educação.

Fonte: Autoria própria.

Os relatórios relacionados ao Cadastro Básico apresentam os dados mais simples contidos na base de dados do CTMU, sendo informações sobre proprietário e propriedade (relatórios que são utilizados para atender ao requisito básico do Cadastro que é o direito de propriedade).

Atuando em conjunto com o Cadastro Básico, os relatórios relacionados a Tributação nos auxiliam a garantir que os valores cobrados nas cargas fiscais de cada lote sejam justos. Para tanto, são desenvolvidos os relatórios com fins tributários que apresentam dados sobre o lote a respeito da sua localização, dimensão, utilização, estrutura, estado de conservação, estágio de construção, entre outros.



Figura 3: (a) Relatório de Informações do Lote; (b) Visualização dos dados contidos no corpo do relatório.

Fonte: Autoria própria.

Por fim, os relatórios voltados ao auxílio na tomada de decisão e no planejamento urbano estão nas áreas Transporte, Educação, Saúde Pública, Dados Socioeconômicos e Município.

Os relatórios de Transporte nos trazem informações sobre as vias de transporte público, como: nome das vias; asfalto; calçada; iluminação pública; as rampas de acessibilidade, entre outros.

Já os relatórios da área de Educação trazem aos gestores o número de pessoas que cursam cada nível de ensino público e particular, e sempre que o filtro da área dos dados é feito pelo usuário, basta usar um filtro que apresente dados daquele bairro específico, tendo como exemplo: quantas pessoas estão cursando o ensino médio na escola pública em um determinado bairro.

Relatórios sobre a Saúde Pública, basicamente exibem informações sobre o número de portadores de doenças combatidas pela mesma. Informações como quantidade de pessoas com tuberculose, hanseníase, aids, mal de parkinson, deficiência física, deficiência mental, deficiência visual, entre outras doenças.

Na mesma linha dos relatórios de Educação e de Saúde Pública, os relatórios Socioeconômicos exibem a quantidade de moradores que estão empregados no comércio, na indústria, no setor público, no meio rural, no meio informal, bem como a quantidade de aposentados, pensionistas e desempregados.

Finalmente, os relatórios sobre os Municípios trazem informações sobre o sexo e a idade dos residentes de determinadas áreas. Vale ressaltar que os relatórios voltados ao planejamento trazem informações quantitativas, podendo, assim, serem expressados de diversas formas, como em listas, gráficos de barras e gráficos pizza.

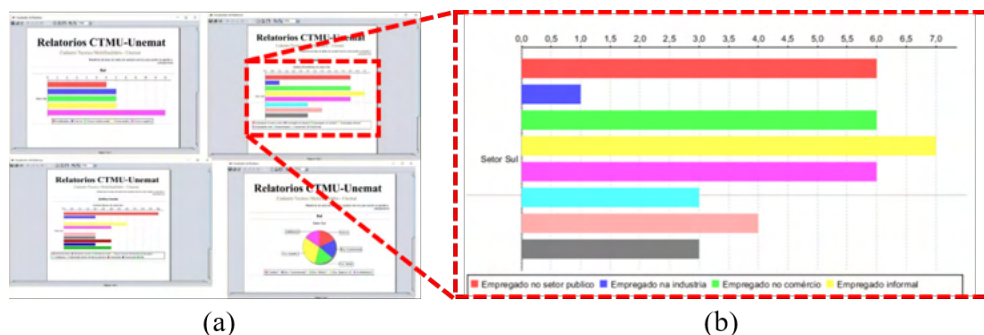


Figura 4: (a) Relatórios em gráficos de diversas áreas do CTM; (b) Gráfico de barras apresentando o número de residentes do setor Sul com determinados vínculos empregatícios.

Fonte: Autoria própria.

4.4 Estudo de caso

A validação do software foi realizada através da inserção de informações fictícias no BD, e em seguida, a utilização do software para gerar todos os modelos de relatórios desenvolvidos.

Para verificar se os relatórios auxiliam efetivamente o gestor na tomada de decisão foram levantados alguns questionamentos, e verificado em seguida se o resultado apresentado no relatório apresentava uma resposta eloquente ao mesmo.

Questionamento	Resposta
Qual o número de residentes no setor sul com deficiência física?	6 pessoas
A rua Juruena possui iluminação pública?	Não
Qual o número de Analfabetos no bairro São Jorge?	4 pessoas
Quantas crianças de 1 a 5 anos moram no bairro Boa Nova?	7 crianças
Quantos pavimentos possui a construção na Rua Juruena, nº 23b?	3 pavimentos

Tabela 2: Questionamentos e respostas do estudo de caso

Após a impressão dos relatórios verificamos que os dados inseridos no BD do CTMU estavam correspondendo aos dados apresentados pelos relatórios. Assim concluiu-se que a necessidade de apresentar um retorno dos dados contidos no Cadastro foi atendida.

5 | CONCLUSÃO

Com a ferramenta desenvolvida é possível responder questionamentos que auxiliaram a tomada de decisão dos gestores municipais. Assim como também é possível gerar mais transparência nas atividades, em especial, no conhecimento do território pelos usuários da ferramenta.

A visualização dos dados com as mais diversas combinações permitem liberdade ao usuário explorar e extrair as informações conforme as suas necessidades, não sendo necessário uma consulta fixa para o relatório.

Como atividades futuras pretende-se implantar esta ferramenta em uma prefeitura da região norte de Mato Grosso, com o objetivo de testar com dados reais a ferramenta.

REFERÊNCIAS

CHIARELLO, C. L.; VAZ, M. S. O cadastro técnico multifinalitário como instrumento na gestão pública municipal de Amambai MS. Natal: [s.n.], 2016. Disponível em: <www.admpg.com.br/2016/down.php?id=2401&q=1>. Acesso em: 29 Junho 2017.

DATE, C. J. Introdução a Sistemas de Banco de Dados. Tradução de Daniel VIEIRA. 8ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

ERBA, Diego Alfonso. O Cadastro Territorial: presente, passado e futuro. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005.

LISBOA FILHO, J. Introdução a SIG - Sistemas de Informações Geográficas. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~jugurta/papers/ti.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

LONGLEY, P. A. et al. Sistemas e ciência da Informação Geográfica. 3ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SHARMA, Nidhi; WADHWA, Manoj. eXSRUP: Hybrid Software Development Model Integrating Extreme Programing, Scrum & Rational Unified Process. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, v. 16, n. 2, p. 377-388, 2015.

SILVA, J. D. D. Desenvolvimento de modelagem de dados para o cadastro técnico multifinalitário urbano e o SQL para o Banco de Dados Postgre. Colíder: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2013.

CAPÍTULO 3

CONSTRUINDO LANDING PAGES DE VENDAS DE ALTO DESEMPENHO, CONVERSÃO E LUCRATIVIDADE

Data de aceite: 01/09/2022

Data de submissão: 31/08/2022

Igor Brown Ramos

Universidade de Vassouras, Engenharia de
Software
Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/1420897244306343>

Marco Antônio Pereira Araújo

Prof. Dr. Universidade de Vassouras,
Engenharia de Software
Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/8908009613435024>

RESUMO: O comportamento do consumidor vem mudando ao longo do tempo, consequentemente, as empresas, sobretudo, as que aderiram ao ramo digital, precisaram se adequar às demandas de consumo de seus clientes que, cada vez mais, têm preferido a *Internet* para realizar suas compras. Páginas de vendas bem construídas e otimizadas potencializam o crescimento das empresas, pois elevam a sensação de bem-estar de seus clientes, atraindo-os para uma possível conversão de compra ou captura de *leads*. Logo, investir tempo e recursos na criação de *websites* bem projetados e otimizados é fundamental porque eles são o principal meio de geração de receita para um negócio digital. Nesse sentido, a presente pesquisa tem como principais objetivos abordar os conceitos do *Growth Hacking*, as estratégias e ferramentas utilizadas por estes profissionais, além de construir, de fato, um

projeto de *software* base (*template*) com as referidas técnicas e avaliar estatisticamente qual impacto que uma boa página de vendas, projetada para alto desempenho, conversão e lucratividade poderá ter para o sucesso de uma organização no meio *online*.

PALAVRAS-CHAVE: Landing-page. Marketing. Software. Growth hacking. Vendas.

BUILDING HIGH PERFORMANCE, CONVERSION AND PROFITABILITY SALES LANDING PAGES

ABSTRACT: Consumer behavior has been changing over time, consequently, companies, especially those that have gone digital, needed to adapt to the consumption demands of their customers who, over and over, have preferred the Internet to go shopping. Well-constructed and optimized sales website enhance the growth of companies because they increased the well-being of potential customers, attracting them to a possible purchase or lead information. Therefore, investing time and resources in the creation of well-designed and optimized websites is crucial because they are the main way for generating budget for a digital business. In this sense, this research has as the main goals to approach the Growth Hacking concepts, the strategies and tools used by these professionals, besides building a base software project (template) with these techniques and statistically evaluate what impact a good sales website, designed for high performance, conversion and profitability can have for the success of an online company.

KEYWORDS: Landing-page. Marketing. Software. Growth hacking. Sales.

1 | INTRODUÇÃO

O comportamento dos consumidores vem sendo alterado com o passar dos anos. Estamos vivendo em uma revolução no jeito das pessoas encontrarem produtos e escolherem as empresas com quem vão se relacionar (HALLIGAN; SHAH, 2010). Parafraseando, também, Tim Ash, uma das principais referências mundiais em otimização de conversão e autor de livros sobre conversão e comportamento do consumidor: As pessoas, no geral, são impacientes, preguiçosas e gostam de escolhas simples.

Nessa lógica, o presente artigo aborda uma visão técnica, clara e objetiva no que diz respeito a criação de páginas de vendas de alto desempenho, conversão e lucratividade, que permitem atrair e manter a atenção das pessoas que as acessam, ativar gatilhos comportamentais focados em conversões e gerar o maior número possível de *leads* para o negócio, que é, sem dúvida, o objetivo principal de uma página comercial.

Destarte, a pesquisa propõe, ao final das disposições teóricas, um projeto de *software* resultante do estudo abordado, utilizando-se da metalinguagem para ilustrar de forma prática todo o conhecimento aqui mencionado.

2 | METODOLOGIA

Para melhores evidências, foi realizada uma revisão sistemática, em que se observa soluções mais objetivas, visando apresentar resultados refinados de materiais já publicados.

Outrossim, foi desenvolvida uma *String* de busca “*landing page*” OR “site de vendas” OR “página de vendas” AND “conversão” AND “leads” e inserida na base de dados do Google Acadêmico.

Com isso, foram encontrados 287 resultados iniciais, através da *String*, em seguida foram selecionados 10 resultados filtrando a partir do título, em que foram lidos os resumos e, por fim, destacaram-se 3 para a seleção final, discutidos a seguir.

3 | REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Marketing x Marketing Digital

Philip Kotler define *marketing* em diferentes momentos: “*Marketing* é a arte de descobrir oportunidades, desenvolvê-las e lucrar com elas” (KLOTTER, 2002, p.54). Percebe-se que, mesmo com todas as mudanças comportamentais dos consumidores em relação à maneira de comprar, o principal objeto do *marketing* continua sendo o cliente.

O *marketing* digital pode ser segmentado para facilitar suas ações da seguinte forma: *marketing* de conteúdo, *marketing* viral, *marketing* de mídias sociais, *e-mail marketing*, pesquisa *on-line*, publicidade *on-line* e monitoramento (Torres; 2009). Diante de todos esses contextos, deve-se pensar em estratégias diferentes para cada segmento

do *marketing*, principalmente porque a comunicação com que se apresenta o produto deve variar de acordo com engajamento ou com tipo de usuário que está consumindo aquele determinado produto.

No mundo atual, em que a *internet* tem feito cada vez mais parte das vidas das pessoas, e os consumidores estão ocupados demais para serem interrompidos o tempo todo por diversas empresas que estão tentando vender o seu produto, as técnicas do *marketing* tradicional e do digital estão cada vez mais difundidas, sobretudo, na união de técnicas e estratégias, adequando-as ao mercado atual.

3.2 Inbound Marketing

Inbound Marketing é sobre atrair pessoas para compartilhar informações relevantes, criando conteúdo útil e que, geralmente, ajuda o usuário no dia a dia. (HALLIGAN; SHAH, 2010). Esta estratégia, muito utilizada por influenciadores em mídias digitais tem ganhado relevância no mercado e atraído grandes marcas.

Antigamente, na maioria dos casos, utilizava-se da imagem de atores famosos para veiculação de comerciais ou lançamento de determinados produtos, na maioria dos casos pela TV em intervalos comerciais, gerando muita visibilidade para as empresas, no entanto, contratos e custos altos com a veiculação e com o direito de uso de imagens dos referidos atores.

Portanto, as empresas têm percebido que há hoje um mercado que possibilita explorar “pequenos influenciadores”, especificamente nichados com o seu produto e obter altas conversões gastando bem menos, por meio do *marketing* de conteúdo. Nessa lógica, de acordo com Andrew Nachison, “Empresas que costumavam usar a mídia para entregar informações, agora tornaram-se a mídia, elas próprias.”



Retirado de: <https://dbriefing.com.br/blog/inbound-marketing-o-que-e/>

3.3 Inbound Marketing: Atração (Attract)

Para atrair tráfego de qualidade para uma *landing-page* é necessário produzir conteúdo relevante para os visitantes. Entende-se por relevante aquele conteúdo que atenda aos anseios, que responda dúvidas dos clientes e que minimize as suas dores. Essa relação acontece de maneira eficaz quando a produção é planejada e elaborada. (PATEL; Neil, 2017). Por esse motivo, como mencionado no item anterior, as empresas têm usado, cada vez mais, o *marketing* de conteúdo por meio de influenciadores digitais.

3.4 Inbound Marketing: Conversão (Convert)

A conversão é o ponto chave para o sucesso de uma *landing-page*. Este é o momento ideal para verificar se a atração foi efetiva a ponto de o usuário permitir que a empresa construa, dali para frente, um relacionamento. É um momento crucial, pois é necessário fazer com que o usuário, de fato, execute uma ação como clique em botão “*call-to-action*” ou preencha um formulário com dados pessoais e sensíveis, como número de documentos e cartão de crédito, e isso só se torna possível se, previamente, uma relação de confiança e credibilidade tenham sido estabelecidas. Dessa forma, bom conteúdo, aparência e disposição visual dos elementos são fundamentais.

3.4.1 Inbound Marketing: Venda (Close)

Em resumo, a venda é o processo de troca de um produto ou serviço por dinheiro. Neste momento, o vínculo de confiança foi gerado, pois a página conseguiu dizer ao usuário o que ele precisava saber do produto ou, simplesmente, o usuário decidiu confiar na persona motivada por sua criatividade, talento ou esforço, empregados no criativo destinado à venda do produto.

Denomina-se a página de execução da venda como Checkout, nela ocorre todo o processo de pagamento. É neste momento que o cliente deve escolher a forma de pagamento (boleto, pix, cartão de crédito, etc), digitar todos os seus dados pessoais e receber a confirmação do pedido.

Em geral, sempre que possível, é uma boa prática optar pelo checkout transparente e simples. Desse modo, o cliente não precisa mudar de página, o que diminui as chances de desistência da compra.

3.4.2 Inbound Marketing: Encantamento (Delight)

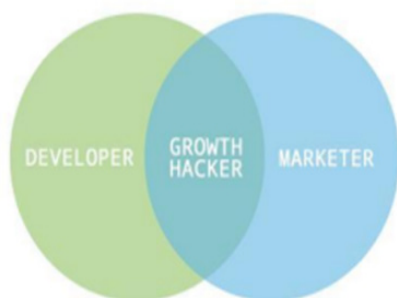
Pode-se considerar o processo de encantamento concluído quando um cliente se torna um propagador de sua marca. Ou seja, quando o nível de satisfação do comprador é tão alto que, por livre e espontânea vontade, irá divulgá-lo para as pessoas próximas. É, de fato, o que se conhece popularmente como “*marketing* boca-a-boca”. A qualidade em serviços é definida, segundo Albrecht (1992), como sendo a capacidade que uma experiência

ou qualquer outro fator tenha para satisfazer uma necessidade, resolver um problema ou fornecer benefícios a alguém. Por isso, é muito importante não perder o contato com o cliente após a venda. Afinal, se ele comprou uma vez e gostou do seu produto, há boas chances de ele comprar novamente. Portanto, recomenda-se não abandonar o consumidor após a compra e continuar nutrindo a conexão com conteúdo, sugestões, perguntas, outras ofertas e produtos.

3.5 Growth Hacking

A criação do termo “*Growth Hacking*” está associada ao *CEO* e fundador da Qualaroo Sean Ellis, que em 2010 definiu um *Growth Hacker* como sendo uma pessoa ou cargo cujo objetivo primordial é o crescimento de uma organização (Ellis, 2010). O conceito, a princípio, surge da necessidade em que *startups* ou empresas têm em crescer, sendo o seu maior desafio contratar um profissional capaz de atender a esse objetivo.

Para Andrew Chen, um *Growth Hacker* é um híbrido de *marketer* e de programador, sendo, portanto, o núcleo deste artigo direcionado a pessoas que possam aplicar, de fato, o processo, tanto do ponto de vista das melhores práticas a serem adotadas no *software* final, quanto na cadeia de processos propostos pela filosofia do *growth*.



Growth Hacker (Fonte: Markitwrite, 2014)

4 | PÁGINA DE VENDAS (SOFTWARE)

A Página de vendas ou *landing-pages* de vendas são sites que têm como foco principal a conversão dos visitantes. É, a princípio, a primeira página que um visitante acessa ao entrar em um *site*. Elas trazem poucos elementos e são focadas em apenas uma ação principal, evitando distrações e corroborando a conversão desejada.

4.1 Principais elementos de uma Landing Page de vendas

Existem alguns elementos que são indispensáveis para uma *landing-page* de sucesso. Tudo é estrategicamente pensado e posicionados em tela para atender um único

objetivo principal: a conversão.

4.1.1 *Oferta (preço sempre em promoção)*

No *marketing* tradicional, quando se trata de vender, quanto mais, melhor. Este é o maior propósito de lojas de varejo, farmácias, açougues, supermercados e qualquer outro tipo de negócio. No mundo atual, com o advento dos *e-commerces* e páginas de vendas, a estratégia de preço psicológico também se faz presente.

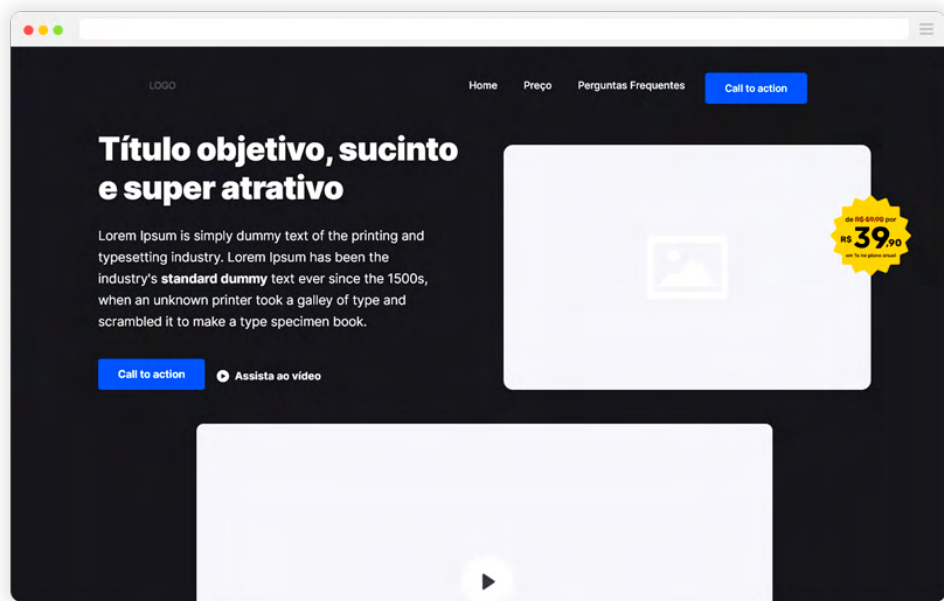
O preço psicológico é uma das estratégias mais usadas nas páginas de vendas. A ideia persiste em proporcionar a sensação nos consumidores de que estão fazendo excelentes negócios, ocultando, muitas vezes, o valor total do produto, exibindo-os em formato de parcelamento, removendo 1 centavo a menos, o famoso “,99”. Estratégias que causam gatilhos mentais relacionados à preços em desconto.

4.1.2 *Título Super atrativo e intuitivo*

Em qualquer peça publicitária com intuito comercial, seja digital ou impressa, o título é uma das partes mais importantes, pois a partir dele tem-se o primeiro contato semântico entre o potencial cliente e uma página *web*. Por esse motivo, é importante validar a maneira como se escreve e a disposição gráfica em tela dos caracteres.

Para escrever títulos e subtítulos da melhor maneira possível, é importante priorizar a clareza das ideias, atrair o leitor e não o fazê-lo pensar muito para compreender o seu sentido. Segundo Steve Krug, autor do livro “Não me faça pensar: Uma abordagem de bom senso à Usabilidade mobile e na web”, “As coisas devem ser autoexplicativas.”, por isso, o propósito de sua página de vendas deve ser evidenciado de maneira óbvia no título principal.

Os títulos devem ser, acima de tudo, chamativos, atraentes e não devem deixar dúvidas sobre o que está sendo vendido ou oferecido para os clientes.

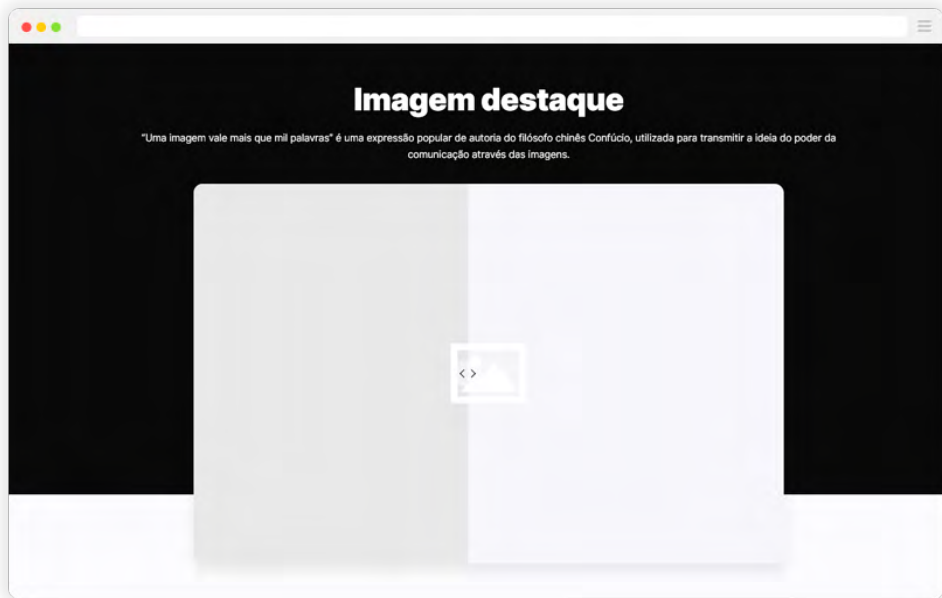


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.3 Imagem destaque

“Uma imagem vale mais que mil palavras”. Esta é uma expressão popular do filósofo chinês Confúcio, utilizada para transmitir a ideia do poder da comunicação através das imagens. No caso das páginas destinadas a vendas, também não é diferente. As imagens destaque servem para chamar a atenção do potencial cliente e para incentivá-lo a adquirir ao material oferecido na página em questão.

Nesse momento, é de extrema importância escolher imagens que realmente façam sentido e que agreguem valor à marca ou produto ofertado. Afinal, investir em um *layout* atrativo é fundamental para prender a atenção do internauta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No exemplo acima é possível navegar pelas variações do produto, em uma espécie de “*slider* animado”, que, para produtos digitais, pode ser usado para exibir a sua variação de versão entre *light* ou *dark*, por exemplo.

Para fins de implementação, recomenda-se o uso da biblioteca *BeerSlider*, disponível em: <https://github.com/pehaa/beerslider>

```
<head>
  <link rel="stylesheet" href="BeerSlider.css">
</head>
<body>
  <div id="slider" class="beer-slider">
    
    <div class="beer-reveal">
      
    </div>
  </div>

  <script src="BeerSlider.js"></script>
  <script>
    new BeerSlider(document.getElementById('slider'));
  </script>
</body>
```

Código de implementação elaborado pelo autor.

4.1.4 Pitch

Com o advento da internet e de novas tecnologias, as *landing-pages* têm se tornado visualmente maçantes para a maioria dos visitantes. Isso ocorre porque esses tipos de páginas são famosas e muitas vezes genéricas, ocasionando negativamente num sentimento de “vender a qualquer custo”, o que não agrada muito aos possíveis compradores.

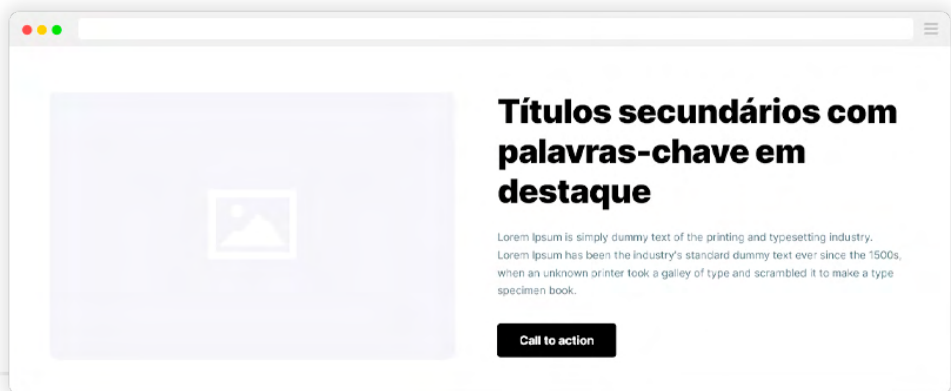
Trazendo para o mundo do empreendedorismo digital, um *pitch* seria uma curta apresentação, no meio digital em vídeo, para vender uma ideia, projeto ou negócio, com intuito de despertar o interesse, muitas vezes de investimento, de quem está assistindo.

Como é evidente pelo nome, uma página de apresentação do produto mostra o seu produto, em vez de se concentrar nos formulários de captura de *leads*. Essa é a principal diferença entre de uma página de destino de captura de *leads* e uma página de apresentação do produto. Por esse motivo, e a fim de quebrar a indesejada sensação de “vender a qualquer custo”, indica-se a criação de um vídeo de vendas, pouco formal, descontraído e, se possível, confeccionado por uma pessoa com propriedade ou voz de autoria naquele determinado assunto ou propósito da venda.

4.1.5 Botões “call to action”

Os famosos botões “*Call to action*”, são de fato fundamentais para as chamadas que convidam os usuários a realizar uma ação. Geralmente são compostos com frases no imperativo, como: “Compre agora”, “Assine já”, “Agende sua consulta”, “Clique aqui”, “Saiba mais”, dentre outras.

Apesar de parecer simples, o impacto de um *call-to-action* depende de dois fatores: onde ele está posicionado e quais frases ou palavras compõem o seu conteúdo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A criação e a estilização de um *link* para ação do tipo “*call-to-action*” é possível com um simples trecho de código:

```
<style>
.btn {
  font-size: 1.1rem;
  font-weight: 700;
  border-radius: 6px;
  padding: 16px 32px;
  color: #fff;
  background-color: #111111;
  border-color: #111111;
}
</style>

<body>
...
<a href="#" class="btn">Call to action</a>
...
</body>
```

Código de implementação elaborado pelo autor.

4.1.6 Descrição

A descrição detalhada de um produto em forma textual, é tida como opcional pois geralmente os usuários não demandam de muito tempo para lerem grandes textos. Porém, caso a organização opte pelo texto corrido e não por representações em lista ou infográficas, é fundamental que a descrição passe a mensagem de forma clara, objetiva e, principalmente, de forma sucinta, a fim de convencer o internauta sobre o valor agregado do referido produto ou serviço a ser oferecido.

4.1.7 Detalhamento em tópicos

Ao contrário do tópico anterior, a diagramação de conteúdo por tópicos ou infográficos torna o texto menos maçante e mais atrativo ao consumidor. Nesse momento, é importante ser objetivo, sucinto e, se possível, ilustrar os tópicos com partes do produto para que aguace no possível comprador, o desejo de compra do referido produto ou serviço.

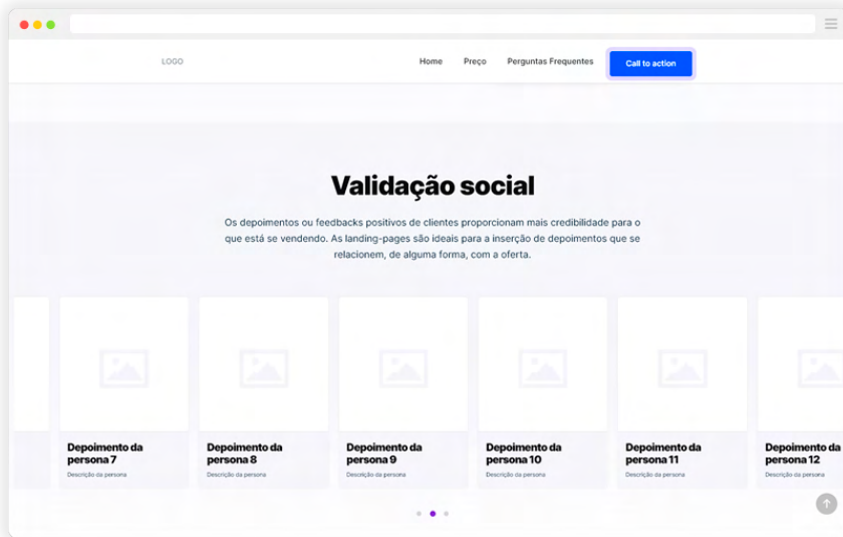
4.1.8 Validação social

Os depoimentos ou *feedbacks* positivos de clientes proporcionam mais credibilidade para o que está se vendendo. As *landing-pages* são ideais para a inserção de depoimentos que se relacionem, de alguma forma, com a oferta.

Ainda nessa conjuntura, com o crescimento e os perigos dos golpes virtuais no Brasil, o consumidor tem criado, cada vez mais, o hábito de validar o local de compra,

com relação a sua confiabilidade e segurança. Por esse motivo, faz-se, hoje, extremamente necessário a publicação dos *feedbacks* públicos de pessoas que já compraram e validaram anteriormente o produto ofertado pela página.

A validação social pode ser proposta de diversas maneiras em uma página, sendo que as mais utilizadas são: depoimentos em vídeos, *prints* de *feedbacks* reais, cópias de *e-mails* de agradecimento ou até mesmo notícias repercutidas pela mídia quando existentes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para fins de implementação, recomenda-se o uso da biblioteca de carrosséis *OwlCarousel2 (jQuery)*, disponível em: <https://github.com/OwlCarousel2/OwlCarousel2>

```

<head>
  <link rel="stylesheet" href="owl.carousel.min.css">
  <script src="owl.carousel.min.js"></script>
</head>
<body>
  <div class="owl-carousel owl-theme">
    <div> Conteúdo do card 1 </div>
    <div> Conteúdo do card 2 </div>
    <div> Conteúdo do card 3 </div>
  </div>

  <script src="BeerSlider.js"></script>
  <script>
    $(document).ready(function(){
      $('.owl-carousel').owlCarousel();
    });
  </script>
</body>

```

Código de implementação elaborado pelo autor.

4.1.9 Perguntas frequentes (FAQ)

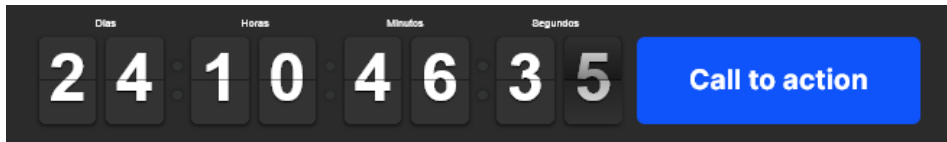
Uma página de *FAQ* consegue esclarecer os clientes sobre o funcionamento da sua empresa e também destacar os benefícios e funções dos seus produtos/serviços, deixando as pessoas sem dúvidas para efetuar a compra. Ademais, a sessão de perguntas frequentes é, também, uma ótima ferramenta de identificação de contorno de objeções, pois geram confiança e aumentam a taxa de conversão. Além disso, cria-se a oportunidade, por meio de indagações, de mostrar o diferencial do produto face à concorrência.

5 | GATILHOS MENTAIS

Gatilhos mentais são estímulos gerados ao usuário durante a leitura do conteúdo ou visualização da oferta. Um bom exemplo é quando um *e-commerce* divulga promoções relâmpagos, que provocam a sensação, ou quase certeza, de que aquele determinado produto acabará em menos de 24 horas. Esse é um excelente gatilho mental de urgência, afinal, a urgência é um desejo que influencia fortemente a decisão de compra.

Segundo pesquisa do SPC Brasil, quase 60% dos consumidores brasileiros realizam compras por impulso. Pensando nisso, as *landing-pages* devem fazer o uso de palavras chaves chamativas, como: “promoção válida por tempo limitado”, “promoção válida por 24h”, “promoção válida enquanto durar o estoque”, “promoção limitada”, etc.

Em consequência desse pensamento, outro gatilho bastante funcional é o *timer* de escassez que proporciona a sensação prazerosa de comprar algo limitado e explora a sensação de urgência em ter algo que pode acabar a qualquer momento. Assim, usar o *marketing* de escassez como uma estratégia, certamente, renderá muitas conversões às empresas que o adotarem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para fins de implementação, recomenda-se o uso da biblioteca de *FlipClockJs*, disponível em: <https://github.com/objectivehtml/FlipClock>

```
<head>
  <link rel="stylesheet" href="flipclockjs.min.css">
  <script src="flipclockjs.min.js"></script>
</head>
<body>
  ...
  <div class="your-clock col-md-12"></div>
  ...
<script>
  var timespan = countdown(new Date(),
    new Date('2022-09-23 15:00:00.00 -0300'), countdown.SECONDS);

  var clock = $('your-clock').FlipClock(timespan.seconds, {
    countdown: true,
    clockFace: 'DailyCounter',
    showSeconds: true,
  });
</script>
</body>
```

Código de implementação elaborado pelo autor.

6 | RESULTADO E DISCUSSÃO

Para análise estatística, foi utilizado o *software Minitab* para comparar a quantidade de vendas de uma *landing-page* antes e depois das referidas técnicas abordadas neste artigo no período de 13/07 a 23/07 (antes das implementações) e 13/08 a 23/08 (depois das implementações).

Os dados avaliados foram extraídos da *dashboard* de vendas da empresa que serviu de estudo para este artigo.

GRUPO COMPARATIVO 1	
Data	Quantidade de vendas
13/07	61
14/07	54
15/07	31
16/07	21
17/07	25
18/07	68
19/07	60
20/07	56
21/07	69
22/07	34
23/07	20

GRUPO COMPARATIVO 2	
Data	Quantidade de vendas
13/08	205
14/08	230
15/08	206
16/08	278
17/08	190
18/08	137
19/08	95
20/08	77
21/08	78
22/08	158
23/08	146

6.1 Estatísticas descritivas

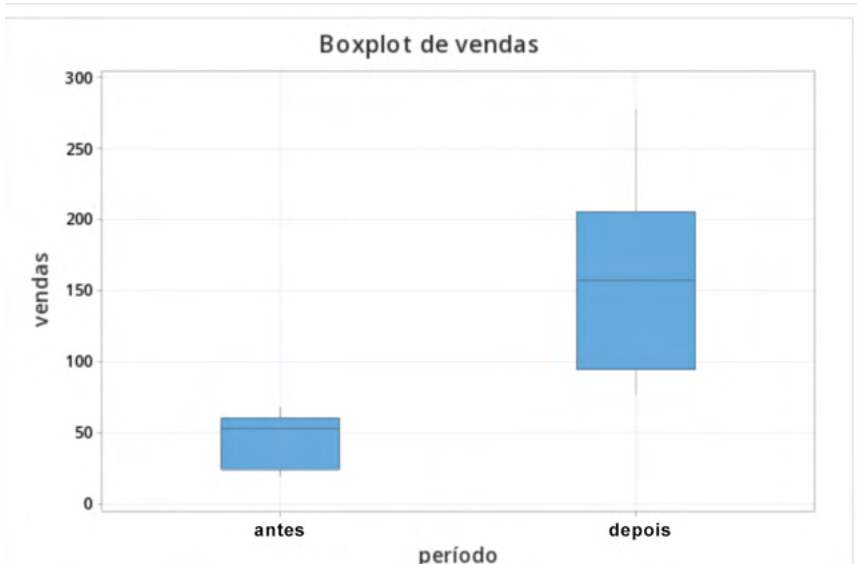
As estatísticas descritivas para as vendas se encontram na Figura abaixo, calculando média, EP da média, desvio padrão, mediana, terceiro quartil, mínimo e máximo.

Estatísticas

Variável	período	N	N*	Média	EP Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
vendas	antes	11	0	45,36	5,80	19,25	20,00	25,00	54,00	61,00	69,00
	depois	11	0	163,6	19,6	65,0	77,0	95,0	158,0	206,0	278,0

6.2 Gráfico BoxPlot

A Figura acima mostra o diagrama de caixa (*Boxplot*) das amostras. Esse tipo de gráfico permite a identificação dos valores máximos e mínimos, da mediana e dos pontos discrepantes (BELFIORE, 2015).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que as amostras das duas áreas no gráfico possuem comportamentos distintos. Apesar disso, é necessário recorrer a outros testes para se obter um resultado mais preciso.

Para testar a normalidade dessas amostras, foi utilizado o Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk, considerando-se um número de amostras menor que 30.

6.3 Teste de normalidade

H0: Dados possuem distribuição normal

H1: Dados não possuem distribuição normal Nível de significância: 5%



Como $p\text{-value} > 0,035$ é inferior a 0,05, aceita-se a hipótese alternativa de que os dados não possuem distribuição normal. Portanto, não é necessário fazer o teste de homocedasticidade e pode-se utilizar um método não paramétrico.

O teste não paramétrico para 1 fator e 2 tratamentos, é o Mann-Whitney. Teste de igualdade de medias.

6.4 Teste Man-Whitney

H0: Dados possuem igualdade de medias

H1: Dados não possuem igualdade de medias Nível de significância: 5%

Teste

Hipótese nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
Hipótese alternativa $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor-p
Não ajustado para empates	253,00	0,000
Ajustado para empates	253,00	0,000

Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado do teste de Mann-Whitney, revelou um valor-p de 0,000, ou seja, inferior ao nível de significância estabelecida de 5%, levando à aceitação da hipótese alternativa de que as medias são diferentes, dado o nível de significância considerado.

Conclui-se, então, que o período analisado depois da implementação das técnicas, entre 13/08 a 23/08 resultou em um aumento significativo comparado ao período anterior, de 13/07 a 23/07, evidenciando a eficácia do estudo.

7 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados nesta pesquisa, conclui-se que é possível obter resultados satisfatórios aliando implementações técnicas do *marketing* digital e da engenharia de *software*, sendo, portanto, validadas as estratégias abordadas neste trabalho por meio de análises estáticas que, de maneira geral, comprovam em números expressivos de conversão em vendas após a adoção das referidas técnicas.

Neste trabalho foi discutido, ainda, sobre a de experiência do usuário, gatilhos mentais e comportamentais, bem como trechos de códigos fonte para implementação prática, visual e funcional de como se deve dispor os elementos para atingir melhores resultados, no tocante a conversão e lucratividade de uma empresa no meio digital.

Os objetivos definidos foram alcançados, pois após realizadas as mudanças na página de vendas, conclui-se que o houve aumento significativo no número de vendas.

8 | INVESTIGAÇÕES FUTURAS

Para um estudo posterior, disponibilizo um modelo de código-fonte aberto (*template*), resultante do processo criativo e de análise deste artigo, com a aplicação de técnicas do *Growth Hacking* e estudo dos resultados obtidos com as mesmas em uma empresa real do meio digital.

Recomenda-se o estudo de tecnologias como html 5, css3 e javascript para que seja possível aplicar ou gerir o projeto final proposto e disponível gratuitamente em: <https://github.com/igoramos77/tcc-high-performance-conversion-sales-landing-pages-example>

REFERÊNCIAS

DIAS, Karine Cristina. UMA ANÁLISE DA PERCEPÇÃO E SATISFAÇÃO DOS CLIENTES DA EMPRESA FPJ COMUNICAÇÕES EM ANITÁPOLIS/SC. **Simpósio de excelência em gestão e tecnologia**, UNIASSELVI, v. 1, n. 1, p. 1-9, out./2015. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/35722420.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2022.

DINAMIZE. **3 ferramentas grátis para gerar sensação de urgência no seu mailing**. Disponível em: <https://www.dinamize.com.br/blog/3-ferramentas-gratis-para-gerar-sensacao-de-urgencia-no-seu-mailing/>. Acesso em: 24 ago. 2022.

DLOJAVIRTUAL. **Aquisição e Retenção de Clientes: Estratégias para Aumentar**. Disponível em: <https://www.dlojavirtual.com/e-commerce/aquisicao-e-retencao-e-commerce/>. Acesso em: 24 ago. 2022.

HELIOPRINT. **11 ESTRATÉGIAS DE PREÇO PSICOLÓGICO PARA VENDER MAIS (MARKETING EFETIVO)**. Disponível em: <https://helioprint.com.br/blog/preco-psicologico-marketing/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

KRUG, Steve. **Não me faça pensar**: uma abordagem de bom senso à usabilidade na web. 2. ed. Brasil: Alta Books, 2008. p. 1-201.

NEILPATEL. **Marketing de Conteúdo: O Que É e Como Fazer em 2021**. Disponível em: <https://neilpatel.com/br/o-que-e-marketing-de-conteudo-o-guia-passo-a-passo/>. Acesso em: 24 ago. 2022.

NERAU. **Como criar uma Landing Page com alta taxa de conversão**. Disponível em: <https://blog.nerau.com.br/como-criar-uma-landing-page-com-alta-taxa-de-conversao/>. Acesso em: 24 ago. 2022.

ROCKCONTENT. **Landing page: como escrever conteúdos que realmente convertem?**. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/talent-blog/como-escrever-uma-landing-page-que-converte/>. Acesso em: 24 ago. 2022.

VEJA. **Quase 60% dos consumidores realizam compras por impulso Leia mais em: <https://veja.abril.com.br/economia/quase-60-dos-consumidores-realizam-compras-por-impulso/>**. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/economia/quase-60-dos-consumidores-realizam-compras-por-impulso/>. Acesso em: 24 ago. 2022.

CAPÍTULO 4

INTEGRAÇÃO DA GERAÇÃO HIDROELÉTRICA E SOLAR FOTOVOLTAICA ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA A HIDROGÊNIO JUNTO À UHE ITUMBIARA

Data de aceite: 01/09/2022

Juarez Corrêa Furtado Júnior

Programa de Pós-Graduação em Planejamento
Energético-Faculdade de Engenharia
Mecânica-Universidade Estadual de Campinas
<http://lattes.cnpq.br/5992535506918773>

Ennio Peres da Silva

Programa de Pós-Graduação em Planejamento
Energético-Faculdade de Engenharia
Mecânica-Universidade Estadual de Campinas
<http://lattes.cnpq.br/7253800571271613>

Vitor Feitosa Riedel

Programa de Pós-Graduação em Planejamento
Energético-Faculdade de Engenharia
Mecânica-Universidade Estadual de Campinas
<http://lattes.cnpq.br/6161320131814638>

Ana Beatriz Barros Souza

Programa de Pós-Graduação em Planejamento
Energético-Faculdade de Engenharia
Mecânica-Universidade Estadual de Campinas
<http://lattes.cnpq.br/4180199978485278>

Hélio Nunes de Souza Filho

Programa de Pós-Graduação em Planejamento
Energético-Faculdade de Engenharia
Mecânica-Universidade Estadual de Campinas
<http://lattes.cnpq.br/1515829599674249>

Demóstenes Barbosa da Silva

Núcleo Interdisciplinar de Planejamento
Energético-Universidade Estadual de Campinas
<http://lattes.cnpq.br/0483053621333179>

Diogo Hernandez de Oliveira Barbosa

Núcleo Interdisciplinar de Planejamento
Energético-Universidade Estadual de Campinas

Jacinto Maio Pimentel

Furnas Centrais Elétricas S.A.

RESUMO: Dado o crescimento da participação das fontes renováveis junto a matriz elétrica brasileira, faz-se necessariamente a análise da integração entre as diferentes fontes de geração de energia elétrica, avaliando a necessidade de inserção de novas tecnologias. Dessa forma, tendo em vista a magnitude do parque gerador hidrelétrico brasileiro, tem-se a possibilidade entre a integração hidro-solar, aproveitando parte da infraestrutura disponível decorrente da redução do regime de precipitações, bem como aproveitar as áreas dos reservatórios que podem ser utilizadas para inserção de plantas solar fotovoltaicas flutuantes (FVF). Dado esse contexto, neste capítulo é apresentado o papel de um sistema de armazenamento de energia elétrica (SAEE) sob a forma de hidrogênio na integração entre a geração solar fotovoltaica e a geração hidrelétrica. Essa integração é um dos objetos de estudo do projeto de pesquisa e desenvolvimento PD 00394-1606/2016, conduzido por Furnas Centrais Elétricas S.A., no âmbito da Chamada Estratégia número 21 da ANEEL. Também é apresentada uma simulação do modo de operação do conjunto hidráulico/solar fotovoltaico na usina hidrelétrica (UHE) de Itumbiara, considerando o dimensionamento da planta FVF e SAEE para 3 estudos de caso.

PALAVRAS-CHAVE: Armazenamento de Energia Elétrica. Geração Solar. Hidrogênio. Integração Hidráulico/Solar. Planta Solares Flutuantes.

ABSTRACT: Given the growth in the share of renewable sources in the Brazilian electrical matrix, it is necessary to analyze the integration between the different sources of electricity generation, evaluating the need to introduce new technologies. In this way, in view of the magnitude of the Brazilian hydroelectric generating park, there is a possibility between hydro-solar integration, taking advantage of part of the available infrastructure resulting from the reduction of the rainfall regime, as well as taking advantage of the areas of the reservoirs that can be used for the insertion of floating photovoltaic solar plants (PVF). Given this context, this chapter presents the role of an electric energy storage system (ESS) in the form of hydrogen in the integration between photovoltaic solar generation and hydroelectric generation. This integration is one of the objects of study of the research and development project PD 00394-1606/2016, conducted by Furnas Centrais Elétricas S.A., within the scope of ANEEL's Call for Strategy number 21. A simulation of the operation mode of the photovoltaic hydraulic/solar set in the hydroelectric power plant (HPP) of Itumbiara is also presented, considering the sizing of the FVF and SAEF plant for 3 case studies.

KEYWORDS: Solar generation; Hydraulic/Solar Integration, Floating Photovoltaic Plants, Energy Storage, Hydrogen.

1 | INTRODUÇÃO

O setor elétrico Brasileiro atravessa uma transformação no que diz respeito a composição das suas fontes de produção de energia elétrica. A partir de dados do ONS (Operação Nacional do Sistema Elétrico), no ano 2000 é composto pela produção de 360,2 TWh de energia elétrica, dos quais 94,1 % eram oriundos da fonte hidráulica, com as fontes de geração térmica e nuclear sendo responsáveis pelo restante da geração, com as fontes renováveis não tendo participação na matriz energética. Já em 2021, a quantidade de energia produzida que aumentou para 603,2 TWh, de modo que a geração hidráulica contribuiu com 62,6% da geração de energia elétrica, as fontes térmicas e nuclear com 24,1%, e as fontes renováveis, representadas pela geração eólica e solar fotovoltaica, foram responsáveis por 13,3% da geração de energia elétrica no Brasil (1). A Figura 1, apresenta a geração de energia anual para cada fonte de energia em 2000 e em 2021.

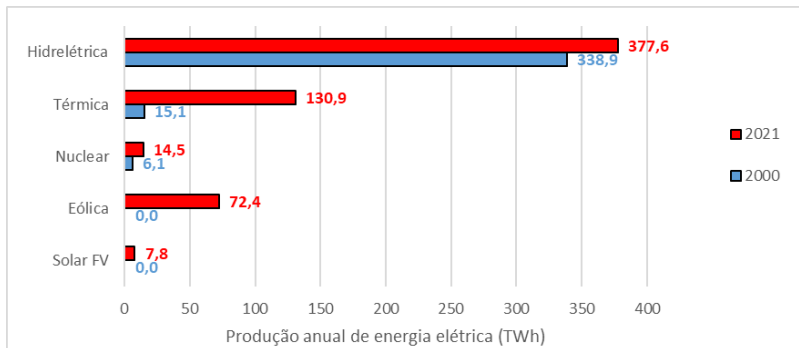


Figura 1: Geração de energia anual para cada fonte de energia em 2000 e 2021 (1)

Conforme a Figura 1, embora a dependência da fonte hidrelétrica esteja diminuindo, essa fonte ainda é a principal fonte utilizada no suprimento de energia elétrica no país. Assim, instabilidades no regime hídrico, principalmente períodos de estiagem mais intensos, decorrentes de fatores naturais e/ou das mudanças climáticas, impactaram negativamente na geração de energia elétrica no Brasil. Como consequência, a tendência de redução da capacidade de armazenamento do parque gerador hidrelétrico interligado tem ocasionado uma diminuição da capacidade de resposta do sistema a essas instabilidades (2). As fontes renováveis, que em 2000 eram irrelevantes no que concerne a matriz elétrica, tem desempenhado um papel de protagonismo na expansão da produção de energia elétrica, de modo que geração eólica e solar fotovoltaica (FV) contribuíram com 12,0% e 1,3% da produção de energia elétrica respectivamente em 2021 (1). Há projeções de que essa participação aumente nos próximos anos, de modo que em 2029 forneçam cerca de 20% do consumo energético no Brasil (3). Destaca-se a geração solar FV, que deve aumentar a sua capacidade instalada em cerca de 6 vezes até 2029, e têm apresentado quedas consistentes nos preços de contratação de energia desde 2015, com preços inferiores a R\$ 100/MWh (4). Nesse contexto, a associação da geração hidráulica com outras fontes renováveis, notadamente solar e eólica, pode contribuir para diversificar a capacidade de geração elétrica nacional.

Dado a previsão de um aumento relevante da participação da geração solar FV na matriz energética nacional, faz-se necessário prever alternativas que minimizem alguns efeitos indesejáveis inerentes a essa fonte, tais como: intermitências e sazonalidades; variações de frequência; entrada e saída de grandes blocos de energia em intervalos de tempo reduzidos (<1 minuto); e recomposição do sistema a partir de desligamentos parciais ou total. Essas características comprometem a qualidade da energia elétrica produzida e a confiabilidade do suprimento através dessa fonte solar (2). O uso de tecnologias de armazenamento de energia elétrica pode contribuir para a mitigar os efeitos inerentes à intermitência e à sazonalidade, podendo ser vistas como solução para o enfrentamento dos

desafios técnicos oriundos de uma maior participação das fontes renováveis no suprimento de energia. Os SAEs podem ser associados ao armazenamento hidráulico, contribuindo para a operação desses sistemas, além de auxiliar na integração da geração hidro/solar (5). As tecnologias que utilizam o H_2 , em particular, têm a capacidade de armazenar grandes quantidades de energia, por elevados períodos, sem que ocorram grandes perdas (6).

Dessa forma, o armazenamento permite maximizar o aproveitamento da energia renovável, de modo que nos períodos de elevada oferta dessas fontes, a parcela que excede a demanda é armazenada. O montante armazenado pode ser utilizado nos períodos de elevada demanda, contribuindo para uma maior estabilidade do sistema, além de maior penetração das fontes renováveis (4). A Figura 2, que apresenta um sistema de armazenamento de energia na forma de hidrogênio, operando conforme a oferta e a demanda de energia.

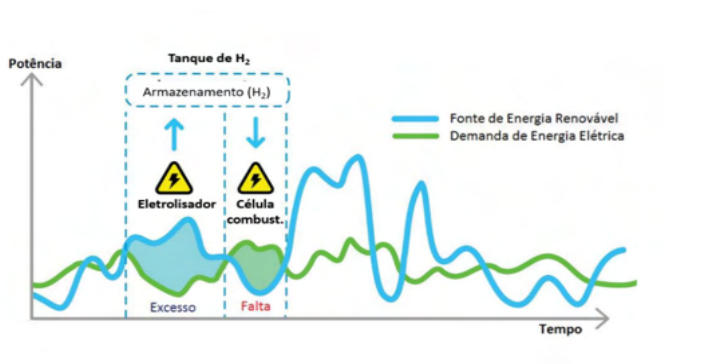


Figura 2 – Esquema de oferta e demanda de energia e atuação de um SAE de H_2 .

Ainda com custos relativamente elevados, os sistemas de armazenamento são tecnologias com potencial de ser amplamente empregados junto ao sistema elétrico, para promover o aumento da penetração das fontes renováveis de energia, auxiliando a penetração do sistema como um todo (2). No Brasil, visando a promoção da área de armazenamento de energia, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) fez uma chamada pública de projetos que atendam à temática do armazenamento, Chamada ANEEL N.º 021/2016 - Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro”. Trata-se de uma iniciativa para dar início às abordagens experimentais do tema no contexto nacional (1), que totalizou investimentos de R\$406 milhões (valores de 2019) (7). No âmbito da Chamada n.º 21, publicada pela ANEEL em 2016, as Centrais Elétricas FURNAS estão desenvolvendo um projeto de pesquisa e desenvolvimento que visa avaliar a aplicabilidade de novas tecnologias de armazenamento de energia, em suporte à sinergia entre as fontes solar fotovoltaica e hidrelétrica. Esse projeto está sendo realizado junto à Usina Hidrelétrica

de Itumbiara, localizada no rio Paranaíba, entre os municípios de Itumbiara, em Goiás, e Araporã, em Minas Gerais. Foi instalada uma planta fotovoltaica com 1 MW_p de potência instalada, sendo que 800 kW_p foram montados solo, e os 200 kW_p restantes foram instalados em estruturas flutuantes no lago do reservatório da usina.

A partir da planta solar FV é possível armazenar uma quantidade de eletricidade equivalente à energia gerada a partir da irradiação solar, sob a forma de energia potencial no reservatório da usina hidrelétrica, através da redução do turbinamento, o que constitui um instrumento de controle do nível do reservatório. Além da utilização do reservatório como sistema de armazenamento de sazonalidades, as intermitências da fonte solar são compensadas com a utilização dos SAEE com hidrogênio e baterias, a médio prazo, no horizonte de meses, e a curto prazo, no horizonte de minutos, horas ou alguns dias. Essa operação conjunta das duas fontes primárias de energia permite um melhor aproveitamento de ambas, resultando em uma eficiência maior do conjunto, com potenciais benefícios para a confiabilidade do sistema, para a redução de riscos de déficit hidrológicos e para a redução do custo de geração de energia, além de benefícios ambientais, pelo deslocamento de fontes termelétricas e consequente redução de consumo de combustíveis fósseis.

Dentre as vantagens da utilização de sistemas de geração solar fotovoltaicos junto a usinas hidrelétricas, tem-se a utilização da infraestrutura já existente, como as subestações e linhas de transmissão, para escoar a energia produzida. Além disso, há um melhor desempenho dos painéis fotovoltaicos devido ao efeito de refrigeração da água em sistemas flutuantes, e também uma redução dos trâmites relacionados ao licenciamento ambiental. Uma das etapas desse projeto consiste na avaliação dos aspectos energéticos relacionados à integração hidro-solar, operando em conjunto com um sistema de armazenamento a hidrogênio. Essa integração permite tanto aumentar a capacidade de geração, como uma melhor gestão do reservatório, economizando água nos momentos de abundância solar e utilizando o montante economizado nos momentos de menor geração renovável. Neste trabalho são mostrados os aspectos energéticos acerca da integração das fontes hidráulica e solar, operando em conjunto com o sistema de armazenamento a hidrogênio, composto por um eletrolisador, um tanque pressurizado e uma célula a combustível (CaC). Para isso, foram utilizados os dados de geração elétrica de Itumbiara compreendidos entre 2000 e 2021, apontando os dimensionamentos dos sistemas fotovoltaicos que incrementam as capacidades de geração do conjunto das duas fontes demarcando o que pode ser gerado com o sistema de armazenamento.

2 | HISTÓRICO DA GERAÇÃO HIDRELÉTRICA EM ITUMBIARA

A usina hidrelétrica (UHE) de Itumbiara, operada por Furnas Centrais Elétricas S.A., localizada no rio Paranaíba, instalada no município de Araporã–MG, fronteira com o município de Itumbiara–GO. Essa UHE possui potência fiscalizada de 2.082 MW e possui grande

importância estratégica para o SIN, em virtude da sua capacidade de armazenamento do seu reservatório, capaz de estocar cerca de 8 % do volume represável pelos reservatórios do Sistema Sudeste/Centro Oeste (1). Conforme dados do ONS, disponíveis em (1) desde 2000 houve uma tendência de redução das precipitações na bacia que contempla a área do reservatório da UHE de Itumbiara. Essa redução no regime hídrico devido a instabilidades e estiagens mais severas, tem como consequência a redução do volume útil do reservatório da usina de Itumbiara. Essa tendência de redução da vazão natural da usina, bem como do nível do reservatório, o que acarretam na redução da quantidade de energia elétrica produzida pela usina. A Figura 3 apresenta graficamente o histórico das médias mensais do nível do reservatório, e do percentual de potência fiscalizada gerada entre 2000 a 2021.

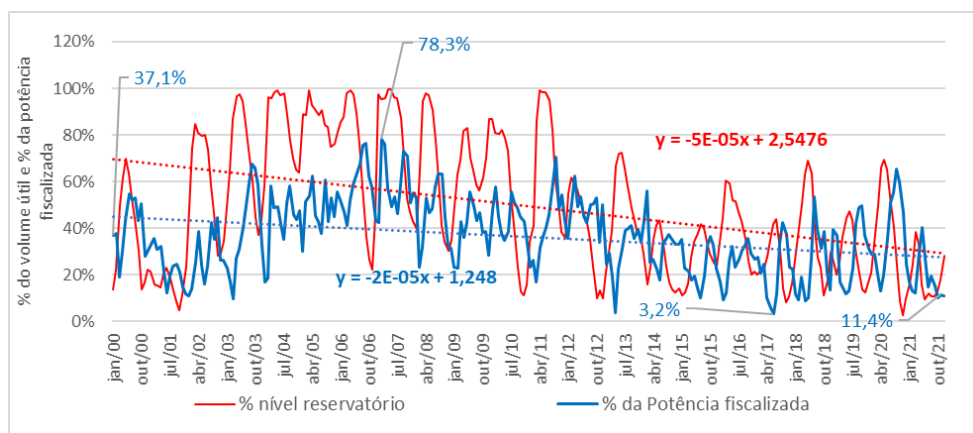


Figura 3: Histórico do nível do reservatório e da potência fiscalizada da gerada pela UHE de Itumbiara entre 2000 a 2021 (1).

Conforme a Figura 3, no período observado tem-se uma tendência da redução tanto do nível do reservatório, como da potência fiscalizada da UHE, com ambas apresentando linhas de tendência com coeficiente angular negativo. A média mensal de geração em janeiro de 2000 foi equivalente a 37,1% da potência fiscalizada, e em dezembro de 2021 esse valor foi de 11,4%. O maior valor de média mensal de geração elétrica foi observado em março de 2007, com a mediana das medias mensais geração hidrelétrica sendo de 744,9 MW_{med}, valor que corresponde a 35,8% da potência fiscalizada da UHE de Itumbiara.

Para compensar o déficit na geração hidráulica de Itumbiara, deve-se considerar o investimento na expansão da capacidade de geração, seja através de outras hidrelétricas, ou outras fontes. Um agravante a essa situação seria o uso de fontes fósseis de energia, tendo em vista os efeitos danosos ao ambiente e os maiores custos de geração de geração inerentes ao emprego dessa alternativa. Além disso, tem-se parte da infraestrutura da usina, como a subestação as linhas de transmissão sendo subutilizadas. Dessa forma, tendo em vista a ociosidade dessas infraestruturas, junto a disponibilidade de área do reservatório,

esse trabalho propõe-se a instalação de uma planta solar fotovoltaica flutuante, de modo que a energia solar complemente a geração hidráulica.

3 | GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM ITUMBIARA

As coordenadas geográficas da localização da UHE de Itumbiara são dadas 18°24'24"S e 49°5'40"W. De acordo com os dados do programa SunData que se destina ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional, fornecido pelo CRESESB existem 3 estações próximas a UHE de Itumbiara. Os dados utilizados foram da estação solarimétrica de Tupaciguara, devido ao fato de esta estação ser a mais próxima do reservatório da UHE, distando 4,8 km. Considerando um ângulo de inclinação igual a latitude de Itumbiara, o valor da média diária da irradiação solar corresponde a 5,47 kWh.m²dia⁻¹. Esses dados podem ser consultados na base de dados do CRESESB (8).

Para avaliar a operação da geração hidráulica integrada a geração solar fotovoltaica é necessário conhecer a distribuição da irradiação solar ao longo de um dia. A distribuição teórica da irradiação solar incidente no plano horizontal ao longo do dia, considerando um dia de céu claro, é apresentada na Figura 4, juntamente com a distribuição da irradiação solar incidente no plano com mesma inclinação da latitude de Itumbiara (9).

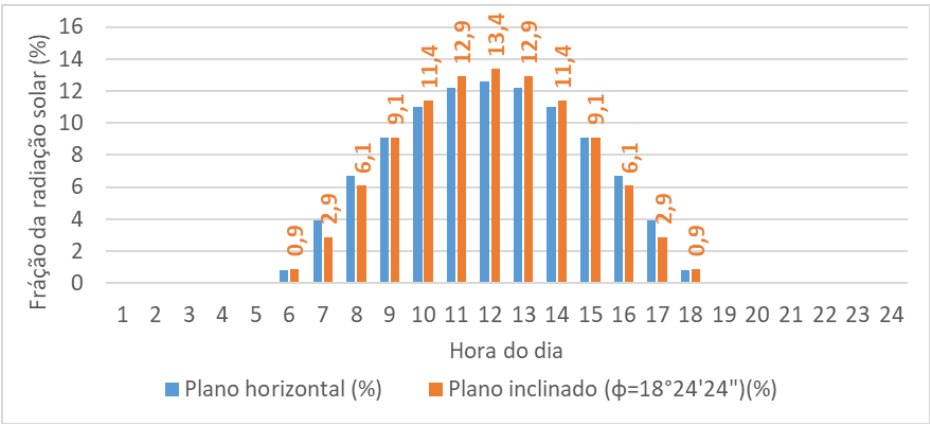


Figura 4 – Distribuição teórica da irradiação solar ao longo de um dia de céu claro no plano horizontal, e no plano com mesma inclinação da latitude de Itumbiara.

Após a definição dos dados solarimétricos da UHE de Itumbiara, é necessário selecionar o modelo do painel fotovoltaico a ser utilizado. No projeto de P&D de Itumbiara foram utilizados tanto na planta FV instalada em solo, como na planta FV flutuante, painéis do fabricante chinês Trina, modelo DE14H, com 390 W_p cada um, eficiência de 19,7 %, com área de 1,98 m² e possuem células solares monocristalinas. Em ambas instalações os

painéis fotovoltaicos foram instalados com uma inclinação de 20° com ângulo de azimute 0° . Os inversores de frequência selecionados para essa planta são do fabricante SMA, com 75 kW e tensão de 380 V. Para a planta de 800 kW_p instalada em solo, foram utilizados 2.052 painéis solares e 8 inversores. De modo análogo, para a planta flutuante de 200 kW_p foram utilizados 513 painéis com 2 inversores de frequência (9). Dessa forma, a potência do módulo selecionado corresponde a 390 W_p, de modo que produção diária média de cada painel fotovoltaico corresponde a 2,13 kWh (390 W_p x 5,47 kWh.m⁻².dia⁻¹).

4 | O SAAE NA FORMA DE HIDROGÊNIO INSTALADO

O SAAE a hidrogênio é composto essencialmente por um eletrolisador, um tanque de estocagem de hidrogênio e uma CaC. O eletrolisador é o equipamento responsável pela produção de H₂ gasoso através da eletrólise da água, a qual se processa por meio do fornecimento de energia elétrica em corrente contínua. O gás produzido fica armazenado nos tanques de estocagem até o momento oportuno para a sua utilização. Por fim, a CaC converte o H₂ gasoso em eletricidade, por um processo reverso ao da eletrólise, a qual pode ser despachada para a rede (4). A Figura 5 apresenta esquematicamente um sistema de armazenamento de energia sob a forma de hidrogênio.

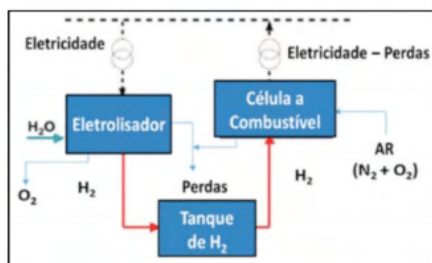


Figura 5 – Esquema de um SAAE sob a forma de hidrogênio.

O eletrolisador selecionado no projeto de P&D é do tipo alcalino, sendo fabricado pela empresa Belgo-Canadense *Hydrogenics*, cujo modelo HySTAT-50 tem capacidade máxima de produção de 50 Nm³/h, com potência instalada de 270 kW, produzindo H₂ com grau de pureza 99,995 %, a uma pressão de 27,5 bar. O tanque pressurizado foi produzido pelo fabricante brasileiro NITROTEC, que utilizou para a fabricação aço ASTM A 516 G70 com espessura de parede de 1". O volume físico para esse reservatório corresponde a 30 m³ com uma pressão de trabalho considerada de 30 bar, resultando em uma capacidade de armazenamento de 900 Nm³ o equivalente a 81 kg de H₂. A CaC selecionada utiliza a tecnologia PEM, também fabricada pela *Hydrogenics*. O modelo do equipamento utilizado é o HyPM-300, que tem capacidade máxima de 300 kW de eletricidade, a um consumo de 215 Nm³/h. Também serão instalados um banco de baterias de 500 kWh, para absorver

pequenas flutuações de carga (9).

Em plena carga, quando inicialmente vazio, são necessárias 18 horas para que o eletrolisador garanta a capacidade máxima do tanque de 900 Nm³ seja atingida, consumido 4.860 kWh de energia elétrica. Quando operando em capacidade máxima, a CaC demora 12,86 horas para consumir todo o hidrogênio do tanque, produzindo 1.255,8 kWh. É importante mencionar que o SAE permite que cargas com perfis variáveis (Normalização da carga, Horário de ponta, etc), possam ser atendidas a partir da fonte solar FV. Nesse caso o SAEE opera como um anexo a UHE, não interferindo na operação da UHE, injetando na rede elétrica energia renovável, substituindo fósseis em horários de maior demanda por fontes fósseis.

5 | INTEGRAÇÃO HIDRO-SOLAR NA UHE DE ITUMBIARA

O despacho de energia a partir das usinas hidrelétricas (UHE) é feito pelo ONS, tendo como critérios a avaliação de diversas variáveis que influenciam no preço da energia elétrica, como regime de precipitações, incidência de ventos, e de irradiação solar, dentre outras. Tais variáveis, que conferem ao despacho de energia a partir das UHE's um caráter imprevisível. Sendo assim, admite-se nas simulações de operação conjuntada UHE com a geração FV que a produção de energia elétrica a partir da UHE de Itumbiara seja constante ao longo do dia. Além disso, considera-se que tanto a geração de energia elétrica na planta FVF, como a injeção de dessa energia na rede elétrica não tenha influencia na geração hidráulica.

Assim, tendo em vista que a mediana da médias mensais de geração hidrelétrica em Itumbiara foi equivalente a 35,8% da capacidade mais de escoamento de energia através da subestação (valor que corresponde a 744,9 MW_{med}), admite-se que plantas FVF serão associadas da geração hidrelétrica de modo a operar de forma híbrida, de modo a aproveitar as instalações, equipamentos elétricos da UHE (transformadores, subestação, linhas de transmissão, etc), bem como a área disponível nos reservatórios, considerando 3 casos:

- **Caso 1:** Instalação de uma planta FV que permita uso total da capacidade disponível da UHE de Itumbiara, sem a instalação de um SAEE.
- **Caso 2:** Instalação de um conjunto composto por planta solar FV e SAEE que permita a injeção de energia elétrica de modo a maximizar a utilização da infraestrutura da UHE no horário de ponta.
- **Caso 3:** Instalação de um conjunto composto por planta solar FV, e SAEE que permita a injeção de energia elétrica de modo maximizar o aproveitamento da energia elétrica ao longo do dia.

5.1 Caso 1

Para aproveitar a capacidade máxima disponível na UHE de Itumbiara, foi dimensionada uma planta solar FVF que em seu pico de produção, gera um montante de energia que somado a geração hidráulica, equivale a capacidade máxima da UHE (2.082 MW_{med}). Tendo em vista que a geração hidrelétrica equivalente a 744,9 MWh, ao meio dia produção de energia elétrica pela planta FVF deve ser de 1.337,1 MWh. Esse valor equivale a 13,4% da energia total produzida ao longo de um dia de céu claro, conforme apresentado na distribuição das frações da irradiação solar ao longo do dia. Assim, a produção diária dessa planta FV deve ser 9.978,0 MWh.

Tendo em vista que os painéis selecionados para a planta solar FVF do projeto de P&D produzem 2,13 kWh por dia, são necessários 4.677.278 de painéis. A área de cada modulo selecionado é de 1,98 m², o que implica que a área ocupada por todos os painéis equivale a 9,26 km², valor que representa 1,20% da área total do reservatório da UHE de Itumbiara. Nesse caso, a área total ocupada pela planta fotovoltaica flutuante deveria considerar espaçamentos entre os painéis de modo a facilitar a movimentação, manutenção entre outros, e admite-se um aumento na área de planta FV de 50% (10). Sendo assim, a área total da planta FV corresponde a 1,78% da área do reservatório da UHE de Itumbiara (12). A Tabela 1 apresenta os valores da geração de energia ao longo do dia para a fontes solar e hidráulica.

Hora	Fração (%)	Geração FV (MWh)	Geração Hidr. (MWh)	Geração FV Injet. na rede (MWh)	Energia injet. rede (MWh)
1	0	0,0	744,9	0,0	744,9
2	0	0,0	744,9	0,0	744,9
3	0	0,0	744,9	0,0	744,9
4	0	0,0	744,9	0,0	744,9
5	0	0,0	744,9	0,0	744,9
6	0,9	89,8	744,9	89,8	834,7
7	2,9	289,4	744,9	289,4	1034,3
8	6,1	608,7	744,9	608,7	1353,6
9	9,1	908,0	744,9	908,0	1652,9
10	11,4	1137,5	744,9	1137,5	1882,4
11	12,9	1287,2	744,9	1287,2	2032,1
12	13,4	1337,1	744,9	1337,1	2082,0
13	12,9	1287,2	744,9	1287,2	2032,1
14	11,4	1137,5	744,9	1137,5	1882,4
15	9,1	908,0	744,9	908,0	1652,9
16	6,1	608,7	744,9	608,7	1353,6
17	2,9	289,4	744,9	289,4	1034,3

18	0,9	89,8	744,9	89,8	834,7
19	0	0,0	744,9	0,0	744,9
20	0	0,0	744,9	0,0	744,9
21	0	0,0	744,9	0,0	744,9
22	0	0,0	744,9	0,0	744,9
23	0	0,0	744,9	0,0	744,9
24	0	0,0	744,9	0,0	744,9
Total	100,0	9.978,0	17.878,6	9.978,0	27.856,7

Tabela 1– Geração de energia ao longo do dia para a fontes solar e hidráulica e SAEE.

Conforme a Tabela 1, a planta solar FV produz diariamente 9.978,0 MWh, o que leva a uma planta FVF com capacidade instalada de 415,7 MW_{med} (1.824,1 MW_p). O incremento de energia elétrica injetado na rede elétrica pela planta FVF corresponde a 55,8% da energia elétrica produzida a partir da geração hidráulica, o que aumenta a utilização da capacidade da subestação de 35,8% para 55,7%. Além disso, tendo em vista que o valor de referência para o dimensionamento da planta solar FV corresponde a mediana da geração hidráulica, tem-se que a soma da produção hidrelétrica com a geração solar supera a capacidade de escoamento de energia da subestação em 50% do tempo, uma vez que em metade do tempo a geração hidráulica é maior que a mediana (744,9 MW_{med}). Nos 50% restantes do tempo, a geração hidrelétrica é inferior a mediana, e dessa forma tem-se disponibilidade na infraestrutura da UHE. Nesse caso, para minimizar eventuais perdas de energia, faz-se necessária a instalação de um SAEE, ou ampliar a infraestrutura existente. A operação dessa planta FV é apresentada na Figura 6, na qual tem-se geração de energia através das diferentes fontes ao longo do dia.

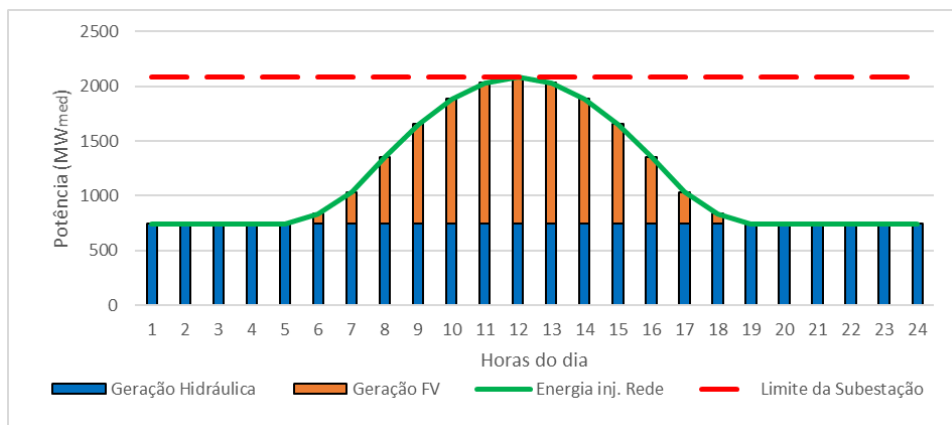


Figura 6: Operação diária média da UHE de Itumbiara com planta FV - Caso 1

Conforme a Figura 5, conforme premissa assumida no dimensionamento da planta FV, ao meio dia a produção da UHE atinge o limite da subestação. A diferença entre a área compreendida pela linha do limite da subestação e a energia injetada na rede representa o montante da infraestrutura disponível.

5.2 Caso 2

Este estudo de caso visa dimensionar a planta FVF que associada a um SAEE, permite que a máxima injeção de energia elétrica na rede durante o horário de ponta. Considera-se que o horário de ponta está compreendido entre às 17:00h e às 22:00 h. Dessa forma, a planta solar FVF que produzirá energia ao longo do dia para alimentar um SAEE na forma de hidrogênio. Às 17:00 h, quando o horário de ponta tem início, a energia elétrica produzida pela planta FVF é direcionada para a rede elétrica, sendo complementada pela produção de energia na CaC, de modo a maximizar a geração elétrica no horário de ponta.

Verificou-se que para produzir o montante de energia necessário para ser armazenado por um SAEE na forma de hidrogênio com a mesma configuração do sistema contemplado no projeto de P&D de FURNAS, é necessário a instalação de uma planta FV que produza um total de 23.327,1 MWh. Para produzir essa energia, essa planta FVF requer 10.935.129 de painéis, tendo capacidade instalada de 972,0 MW_{med} (4.263,7 MW_p). Essa planta FV, teria uma grande capacidade, e considerando os 50% adicionais de área para manutenção e serviços gerais, ocuparia uma área de 32,48 km², que representa 4,17% da área do reservatório da hidrelétrica. A operação da planta FVF e SAEE em conjunto com a geração hidrelétrica é apresentada na Tabela 2. Nesse caso, observa-se que toda a energia produzida é utilizada para a máxima produção de energia no horário de ponta, de modo que antes das 17:00h toda energia FV é utilizada para a produção de hidrogênio. Após o início do horário de ponta, a energia FV é destinada diretamente para a rede elétrica, e com a complementação da produção da energia oriunda da CaC e da energia hidrelétrica, tem-se a produção máxima.

Hora	Fração (%)	Geração FV (MWh)	Geração Hidr. (MWh)	Geração FV rede (MWh)	Eletrolise (MWh)	Prod. H ₂ (10 ³ Nm ³)	Prod. CaC. (MWh)	Energia injet. rede (MWh)
1	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0		744,9
2	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0		744,9
3	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0		744,9
4	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0		744,9
5	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0		744,9
6	0,9	210,0	744,9	0,0	210,0	38,9		744,9
7	2,9	676,5	744,9	0,0	676,5	125,3		744,9
8	6,1	1.423,0	744,9	0,0	1.423,0	263,5		744,9
9	9,1	2.122,8	744,9	0,0	2.122,8	393,1		744,9
10	11,4	2.659,4	744,9	0,0	2.659,4	492,5		744,9
11	12,9	3.009,3	744,9	0,0	3.009,3	557,3		744,9
12	13,4	3.125,9	744,9	0,0	3.125,9	578,9		744,9
13	12,9	3.009,3	744,9	0,0	3.009,3	557,3		744,9
14	11,4	2.659,4	744,9	0,0	2.659,4	492,5		744,9
15	9,1	2.122,8	744,9	0,0	2.122,8	393,1		744,9
16	6,1	1.423,0	744,9	0,0	1.423,0	263,5		744,9
17	2,9	676,5	744,9	676,5	0,0	0,0	660,5	2.082,0
18	0,9	210,0	744,9	210,0	0,0	0,0	1.127,1	2.082,0
19	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1.337,1	2.082,0
20	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1.337,1	2.082,0
21	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1.337,1	2.082,0
22	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0		744,9
23	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0		744,9
24	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0		744,9
Total		23.327,9	17.133,7	886,5	22.441,4	4.155,8	5.798,8	23.819,0

Tabela 2 – Geração de energia ao longo do dia para a fontes solar e hidráulica e SAEE.

A planta solar FV produz o equivalente a 972,0 MW_{med}, valor que corresponde a 1,36 vezes a produção da UHE, sendo que a energia injetada na rede pela planta FV e SAEE corresponde a 278,6 MW_{med}. Esse valor de energia injetado na rede no horário de ponta, aumenta a utilização da capacidade da UHE de 35,8% para 49,7%. A Figura 7, apresenta a operação da planta FV e do SAEE para o caso 2.

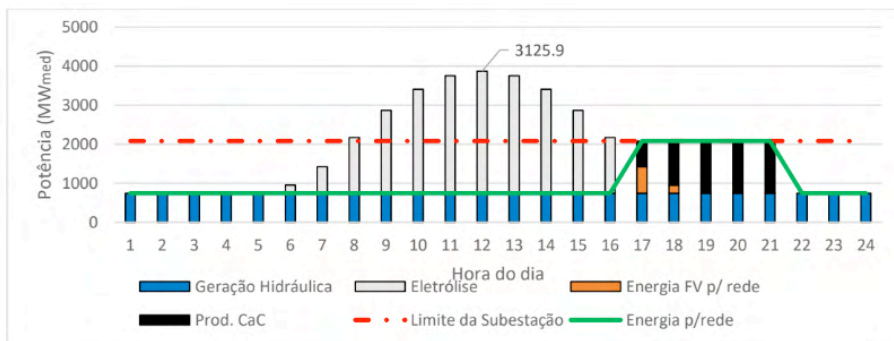


Figura 7: Operação diária média da UHE de Itumbiara com planta FVF e SAEE - Caso 2.

Conforme a Figura 6, observa-se que a contribuição de cada fonte de energia para maximizar a produção de energia elétrica durante o horário de ponta. Nota-se graficamente a magnitude da produção de energia necessária para que o SAEE possa atender a carga durante o horário de ponta, de modo que no pico de produção da planta FV são produzidos 3.125,9 MWh que somados aos 744,9 MW_{med} da geração hidrelétrica totalizam 3.870,9 MWh, valor 86% superior a capacidade de escoamento da subestação.

5.3 Caso 3

No estudo de caso 3, visa dimensionar uma planta solar FV associada ao SAEE que combinada a hidrelétrica produza energia suficiente para utilizar a capacidade máxima da subestação ao longo do dia. Verificou-se nesse caso que a energia a ser produzida pela planta FVF necessária para que a totalidade da infraestrutura seja utilizada corresponde a 73,0 GWh durante o dia. Dessa forma, a capacidade solar fotovoltaica instalada corresponde a 3.043,8 MW_{med} (13.350,6 MW_p), sendo necessários 34.232.428 de painéis solares fotovoltaicos similares aos utilizados no projeto de P&D desenvolvido por FURNAS. Nesse caso, a área ocupada pela planta solar FVF, seguindo os mesmos critérios mencionados nos casos anteriores corresponde a 67,78 km², o que equivale a utilização de 8,71% da área do reservatório da UHE de Itumbiara. De modo análogo ao anterior, a Tabela 3 apresenta a operação do caso 3.

Hora	Fração (%)	Geração FV (MWh)	Geração Hidr. (MWh)	Geração FV rede (MWh)	Eletrolise (MWh)	Prod. H ₂ (10 ³ Nm ³)	Prod. CaC. (MWh)	Energia injet. rede (MWh)
1	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1.337,1	2.082,0
2	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1.337,1	2.082,0
3	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1.337,1	2.082,0
4	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1.337,1	2.082,0
5	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1.337,1	2.082,0
6	0,9	657,3	744,9	657,3	0,0	0,0	679,8	2.082,0
7	2,9	2.117,8	744,9	1.337,1	780,8	144,6	0,0	2.082,0
8	6,1	4.454,7	744,9	1.337,1	3.117,7	577,3	0,0	2.082,0
9	9,1	6.645,6	744,9	1.337,1	5.308,5	983,1	0,0	2.082,0
10	11,4	8.325,2	744,9	1.337,1	6.988,1	1.294,1	0,0	2.082,0
11	12,9	9.420,6	744,9	1.337,1	8.083,6	1.497,0	0,0	2.082,0
12	13,4	9.785,8	744,9	1.337,1	8.448,7	1.564,6	0,0	2.082,0
13	12,9	9.420,6	744,9	1.337,1	8.083,6	1.497,0	0,0	2.082,0
14	11,4	8.325,2	744,9	1.337,1	6.988,1	1.294,1	0,0	2.082,0
15	9,1	6.645,6	744,9	1.337,1	5.308,5	983,1	0,0	2.082,0
16	6,1	4.454,7	744,9	1.337,1	3.117,7	577,3	0,0	2.082,0
17	2,9	2.117,8	744,9	1.337,1	780,8	144,6	0,0	2.082,0
18	0,9	657,3	744,9	657,3	0,0	0,0	679,8	2.082,0
19	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1337,1	2.082,0
20	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1337,1	2.082,0
21	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1337,1	2.082,0
22	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1337,1	2.082,0
23	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1337,1	2.082,0
24	0	0,0	744,9	0,0	0,0	0,0	1337,1	2.082,0
Total		73.028,0	17.133,7	16.022,1	57.005,9	10.556,6	14.730,2	49.968,0

Tabela 3 – Geração de energia ao longo do dia para a fontes solar e hidráulica e SAEE.

Conforme a Tabela 3, tem-se que a produção de energia elétrica pela planta solar FVF é 4,26 vezes superior à geração hidráulica, com 21,9% da energia elétrica oriunda da geração solar sendo injetada diretamente na rede, e os 78,1% restantes sendo destinados para a produção de hidrogênio a partir do processo de eletrolise. A produção de energia na CaC corresponde a 14,7 GWh, valor que corresponde a 20,2% dos 73,0 GWh produzidos pela planta FV. Dessa forma, a 32,9 GWh complementam a geração hidráulica de modo a utiliza a totalidade da infraestrutura da UHE, contribuindo para o aumento da energia renovável junto ao SIN. De modo análogo aos anteriores, a Figura 8 apresenta a operação da planta FVF em conjunto com o SAEE para o caso 2.

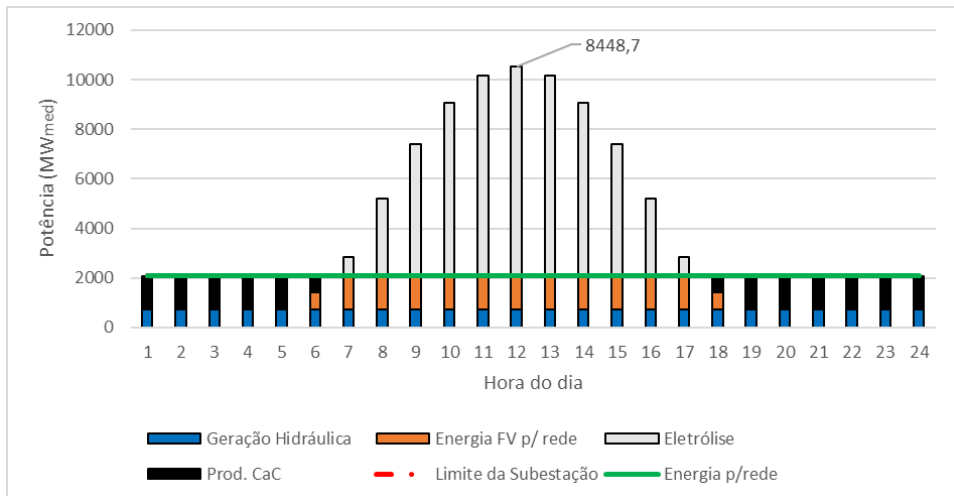


Figura 8: Operação diária média da UHE de Itumbiara com planta FVF e SAEE - Caso 3.

Nesse caso, tem-se a operação da geração a partir das fontes hidráulica, solar FV e a participação do SAEE para o atendimento da carga. Nesse caso observa-se a magnitude da energia produzida em excesso, para alimentar o eletrolisador e produzir hidrogênio, para posterior reconversão em energia elétrica. Os 3.043,8 MW_{med} de capacidade instalada da planta solar FV, são 48,7% superior aos 2.047,0 MW_{med} de capacidade instalada em 2021 (ONS, 2022) no Brasil, o que mostra a dimensão da instalação necessária para que a capacidade máxima da UHE seja utilizada. No pico de produção de energia solar FV, a produção total de energia (hidrelétrica e FV) corresponde a 10,5 GWh, que representa cerca de 5 vezes a capacidade máxima da subestação.

6 | ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO HIDRO-SOLAR NA UHE DE ITUMBIARA

Para o dimensionamento das plantas FVF, foi utilizado o valor da mediana das médias mensais de geração hidrelétrica no período compreendido entre 2000 e 2021. Nesse caso, a soma da produção hidrelétrica com a geração solar supera a capacidade de escoamento de energia da subestação em 50% do tempo, uma vez que em metade do tempo a geração hidráulica é maior que a mediana (744,9 MW_{med}). Nos 50% restantes do tempo, a geração hidráulica é inferior a mediana, e dessa forma tem-se disponibilidade na infraestrutura da UHE.

Para o Caso 1, que não considera a instalação de um SAEE, há maior chance de que se tenha perda de parte da energia elétrica produzida planta FVF, pois basta que a geração hidrelétrica seja maior que a mediana, e que se tenha um dia de céu claro para que o montante de eletricidade produzido supere a capacidade da UHE de Itumbiara. Considerando essa situação em que a produção de energia elétrica a partir da UHE

geração superior a mediana com um dia de céu claro. Considerando essa situação, em que a geração de energia na UHE é superior a mediana, com dia de céu claro para os casos 2 e 3, o SAEE pode absorver maiores quantidades da energia solar FV que não seriam aproveitadas em virtude da limitação do escoamento de energia na subestação.

Além disso, na situação em que a geração hidrelétrica supera a mediana, com dia de céu claro, uma alternativa para evitar perdas de energia solar FV seria reduzir a produção de energia hidráulica, armazenando a vazão que seria turbinada no reservatório da UHE, e permitindo uma maior produção de energia solar FV. No entanto, essa questão ainda necessita de uma regulação por parte dos órgãos competentes, uma vez que a vazão não turbinada pode afetar a produção de energia nas usinas hidrelétrica a jusante. Com relação os dimensionamentos das plantas FVF e do SAEE, a Tabela 4 apresenta os principais resultados obtidos nos estudos de caso avaliados.

Item	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Planta solar FV	415,7 MW _{med} -1,82 GW _p	972,0 MW _{med} -4,26 GW _p	3.043,8 MW _{med} -13,3 GW _p
Área ocupada	9,26 km²	32,48 km²	67,78 km²
% da área reservatório	1,78%	4,17%	8,71%
% energia FV p/ SAEE	-	96,20%	78,1%
Capacidade eletrólise	-	3.125,9 MW	8.448,7 MW
Capacidade tanque H ₂	-	4.155,8 10³ Nm³	10.556,6 10³ Nm³
Capacidade da CaC	-	1.337,1 MW	1.337,1 MW
% utilização da subestação	55,7%	49,7%	100%

Tabela 4: Principais resultados dos estudos de caso avaliados

Observa-se que nos 3 estudos de caso, que a infraestrutura da UHE pode ser melhor aproveitada a partir da instalação de plantas FVF que ocupam áreas relativamente pequenas do reservatório da UHE Itumbiara. De fato, há no Brasil um grande potencial de aproveitamento da área sobre a lâmina d’água a partir de planta FVF (10). Por outro lado, tendo em vista que uma parcela mínima das áreas dos reservatórios foi utilizada, para que esse potencial seja explorado é necessário implementar infraestruturas adicionais, como aumento da subestação, linhas de transmissão, bem como a obtenção de outorgas e licenças junto aos órgãos competentes.

Para permitir a geração solar FV em larga escala, é necessário que as capacidades dos equipamentos da planta FVF e o SAEE sejam consideravelmente elevadas. Tendo em vista que a capacidade instalada para a geração solar fotovoltaica em 2021 correspondia a 2.047 MW_{med} (ONS, 2022), as plantas FVF dimensionadas nos casos 2 e 3 possuem respectivamente cerca de 50% e 150% da capacidade solar fotovoltaica instalada no Brasil.

No caso do SAEE, tendo como referência o projeto piloto de FURNAS, para o Caso 2 o eletrolisador tem potência tem potência 11.578 vezes superior ao equipamento selecionado, com o tanque de estocagem e CaC devendo ser aumentados em 4618 vezes e 4.460 vezes em relação aos equipamentos do projeto piloto. De modo análogo, para o caso 3, eletrolisador, tanque de armazenamento e CaC devem ser aumentados em 31.292, 1730 e 4.460 vezes em relação ao projeto piloto.

Em termos de operação, a planta solar fotovoltaica flutuante opera de modo híbrido a usina hidrelétrica, aproveitando a parcela disponível da infraestrutura disponível, tais como equipamentos elétricos subutilizados. Em termos gerais, para permitir que esses sistemas operem em larga escala, é necessário a instalação de plantas FVF bem como SAEE de energia de larga escala, o que representa um desafio para ser implementado no curto e médio prazo.

REFERÊNCIAS

(1) - **ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico** (2022). Resultado Histórico da operação. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Brasília DF, 2021. Disponível em http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx

(2) - **ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica** (2016). Chamada nº 021/2016. Projeto Estratégico “Arranjos Técnicos e Comerciais Para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro” Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília –DF. 2016.

(3) - **EPE - Empresa de Pesquisa Energética**. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. 393p, 2020a. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE 2029.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%2029.pdf).

(4) - **EPE - Empresa de Pesquisa Energética**. 2019. Leilões de Energia Elétrica de 2019. Rio de Janeiro - RJ 9p, 2019a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-451/Informe%20Leil%C3%B5es%202019_v3.pdf

(5) - **IEA – International Energy Agency**. (2017). Tracking Clean Energy Progress. International Energy Agency. Paris – France, June, 2017.

(6) - **Silva, E.P.** Fontes Renováveis de Energia, 1ª Edição. Livraria da Física, São Paulo, 2014

(7) - **ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica**. Aneel fomenta o investimento em inovação no setor elétrico brasileiro. Disponível em https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-fomenta-o-investimento-em-inovacao-no-setor-eletrico-brasileiro/656877/pop_up?_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_viewMode=print&_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_languageld=pt_BR

(8) - **CRSESSEB (2019)** Potencial Solar – Sun Data v 3.0. Centro de referência para as energias Solar e Eólica Sergio Brito. CEPEL. Rio de Janeiro –RJ. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>.

(9) – Furtado Jr, J. C. 2021. Análise da Integração Hidro-Solar Auxiliada por Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica na Forma de Hidrogênio junto a Usinas Hidrelétricas. 2021. 176p. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas

(10) - Strangueto, K. M. 2016. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas. 2016. 146p. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SUGESTÕES PARA CRITÉRIOS DE SEGURANÇA PARA SISTEMAS SCADA EM REDE CORPORATIVA - POR QUE E COMO PROTEGER

Data de aceite: 01/09/2022

Lucas Becker

Universidade Federal do ABC, São Bernardo
do Campo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5627831100146482>

Alexandre Acácio de Andrade

Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências
Sociais Aplicadas, Universidade Federal do
ABC, São Bernardo do Campo, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-9794-8687>
<http://lattes.cnpq.br/1461416649933311>

Júlio Francisco Blumetti Facó

Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências
Sociais Aplicadas, Universidade Federal do
ABC, São Bernardo do Campo, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-8155-5547>
<http://lattes.cnpq.br/5669806435463982>

RESUMO: A demanda crescente por alta conectividade entre todos os níveis corporativos impulsionada pelo novo panorama da indústria conectada ou 4.0, trouxe além dos benefícios, diversas preocupações quanto a segurança de sistemas supervisórios de controle e aquisição de dados - SCADA. Antes isolados, os sistemas SCADA passam a ser interligados com as redes corporativas e a internet. Diferente dos sistemas convencionais de TI (Tecnologia da Informação), os sistemas SCADA possuem uma arquitetura particular, protocolos de rede dedicado e distintas prioridades de segurança. Nesse trabalho será alavancado as principais características dos sistemas SCADA e os critérios para sua proteção

em um ambiente de crescente interconectividade.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança da informação, Segurança SCADA, SCADA, Ethernet Industrial.

SUGGESTIONS FOR SECURITY CRITERIA FOR SCADA SYSTEMS IN AN ENTERPRISE NETWORK - WHY AND HOW TO PROTECT

ABSTRACT The growing demand for high connectivity among all enterprise levels imposed by the new Connected Enterprise Environment, brings new concern about the supervisory control data and acquisition systems - SCADA security. Originally isolated, SCADA systems are being connected to enterprise networks and to the internet. They differ from the typical IT casual systems on its dedicated architecture, communication protocols, and security priorities. Trough the text it will be identified the main characteristics of the SCADA systems and its safety requirements in an environment of increasing interconnectivity.

KEYWORDS: Information Security, SCADA Security, SCADA, Industrial Ethernet.

1 | INTRODUÇÃO

Ataques a sistemas SCADA trazem impactos devastadores. Com o devido acesso um sabotador pode facilmente roubar segredos industriais, destruir parques fabris e até causar perigo de morte a diversas pessoas. Por sua facilidade o ataque a esse tipo de sistema tornou-se de grande atratividade para serviços de espionagem, terroristas, ex-empregados

frustrados, criminosos, hacker ativistas entre outros. (Falliere et al., 2011)

Os ataques podem ser de característica física, quando se sabota o sistema por alguma configuração do *hardware*, ou via *software*. Tradicionalmente os sistemas SCADA eram isolados, não trocando dados com a rede corporativa, tal situação “blindava” o sistema a ataques externos, ficando relegados apenas a sabotadores internos. No entanto, dado o paradigma colocado pela indústria 4.0 de alta conexão entre todas as camadas da pirâmide de automação(Dias et.al, 2020), os sistemas SCADA vem sendo conectados as redes corporativas muitas vezes sem o devido cuidado, deixando sistemas de automação inteiro vulneráveis a ataques via *web*. (Ilgure et al., 2006)

As ferramentas de mitigação de ataques a sistemas SCADA são muito semelhantes as utilizadas em TI, no entanto a abordagem e o foco do tipo de defesa são distintos. Existem diversas características fatais para automação(Andrade et. al., 2020) e toleráveis para TI e vice versa, deste modo se faz necessário o apontamento dos critérios de funcionamento exigido por uma rede SCADA segura antes de abordar a natureza da solução. As diferenças fundamentais entre as exigências de segurança para automação e TI estão colocadas na Tab. 1.

Critério	Sistema SCADA	TI - Redes e Computadores
Perda de dados e interrupções	Não podem ser tolerados, risco de dano sério ao sistema	Podem ser tolerados e solucionados por rotinas de restauração do sistema
Atrasos “ <i>Delays</i> ”	Determinismo é prioritário! atrasos são intoleráveis	” <i>delays</i> ” são toleráveis
Antivírus	Difícil aplicação, seu processamento pode causar <i>delays</i> impactando no determinismo.	São via de regra implementados
Criptografia	Pouco difundida	Largamente utilizada
Teste de Penetração (Simulação de Ataque)	Falta de procedimento Padrão,pode impactar em danos permanentes ao sistema	Usualmente utilizado como política de TI para melhoria continua dos padrões de segurança.
Atualização de <i>Software</i>	Atualizações de <i>Firmware</i> e versões de software devem ser feitas com critério, podem afetar permanentemente o funcionamento do sistema	Atualização constante e facilmente reversível
Auditoria de Segurança da informação	Pouco frequente	Frequente.
Frequência na troca de equipamentos	Equipamentos utilizados por longos períodos sem substituição (em média mais de 10 anos)	Equipamentos substituídos em média em cada três anos.
Treinamento de políticas de Segurança da informação	Poucos treinamentos	Treinamentos constantes

Tabela 1: SCADA x TI Particularidades nos Critérios de Segurança

Fonte: (Krutz, 2005) & (Ilgure et al.,2006)

1.1 Protocolos Fieldbus e Conceito de Ethernet Industrial

Os protocolos para redes de TI e TA (tecnologia de automação), começaram a ser desenvolvidos praticamente no mesmo momento, em meados da década de 70, com abordagens distintas. As necessidades de transmissão de dados para TI impunham uma larga banda de transmissão de dados, mas não impunham o determinismo, ou seja, não era imperativo estabelecer o tempo de envio e recebimento de um pacote de informação. As redes de automação por sua vez deveriam atender exatamente o contrário, a característica determinística é fundamental, em especial para sistemas com sincronismo de movimento, enquanto a banda não precisava ser alta dado a natureza padronizada dos pacotes de instrução transmitidos. (Felser and Sauter, 2002).

Desta forma os protocolos para redes de TI padronizados pela IEEE 802.3, ou “protocolo Ethernet”, possui uma larga banda de transmissão de dados e baixo determinismo (Tanenbaum et al., 2003), enquanto os protocolos para redes de automação definidos pela norma IEC 61158 ou “protocolo fieldbus”, possui alto determinismo e bandas de transmissão mínimas suficientes para atenderem suas necessidades determinísticas (Thomesse, 1998). Caso necessário, ambos as redes de TI no modelo Ethernet, e TA no modelo fieldbus, podem ser interconectados via um dispositivo de interface ou “gateway”.

Com a interligação cada vez mais constante de ambas as redes e a maior necessidade de extração de dados da rede de automação, surge uma maior necessidade de banda para redes fieldbus, de modo que fabricantes e associações de automação industrial vêm encapsulando, ao logo dos últimos 17 anos, os diferentes tipos de protocolos fieldbus na estrutura de transmissão de dados do protocolo Ethernet. Esse modelo “híbrido” é chamado de “Ethernet Industrial”, possui alta banda de transmissão de dados e garante o determinismo de maneiras distintas de acordo com o tipo de protocolo Fieldbus encapsulado. (Winkel, 2006).

Em termos de segurança, é importante em primeiro lugar a observância das especificidades dos protocolos fieldbus e ethernet industrial apontados pelos fabricantes. A título de exemplo o protocolo Ethernet/IP da ODVA, e promovido pela Rockwell Automation atinge o determinismo pela segregação de rede e alta banda disponível, o que implica na utilização de *switches* gerenciáveis, já o protocolo Profinet da Profibus International e promovido pela Siemens garante o determinismo pelo emprego de *switches* especiais voltados a Pronet. (Felser and Sauter, 2004) Dessa maneira abordar redes de automação como redes de TI convencionais podem levar a falhas e acidentes.

2 | AUTORES DE ATAQUES A SISTEMAS SCADA

2.1 Conceito de guerra cibernética “Cyber Warfare”

Com a quantidade cada vez maior de sistemas e infraestruturas críticas conectadas

à internet, o ataque cibernético torna-se e uma nova ferramenta de guerra, e um tema crítico para segurança nacional. De acordo com o relatório *"In the cross fire: critical infrastructure in the age of cyber war"* publicado pela companhia de segurança da informação McAfee, cerca de 120 países estão desenvolvendo expertise em guerra cibernética, com destaque para cinco países, China, Estados Unidos, Israel, Rússia e França, que possuem agências e elevado grau de conhecimento na área. (Baker et al., 2009).

Além de conflitos entre estados, os mecanismos de guerra cibernética possibilitam um novo campo de atuação a terroristas, criminosos e espiões industriais. (Nicholson et al., 2012). O conhecimento dos possíveis atacantes torna-se fundamental para companhias e estados definirem estratégias de segurança a suas infraestruturas críticas.

2.2 Hackers estatais

Tratam-se de agentes contratados por departamentos de inteligência ao redor do mundo, com intuito de promover ações de ataque e defesa e estruturas estratégicas das nações. (Nicholson et al., 2012)

Hackers estatais possuem o maior potencial destrutivo a sistemas SCADA e de TI, pois seu financiamento estatal os possibilita acesso a uma quantidade infindável de recursos, pessoal e tecnologia. (Nicholson et al., 2012).

Exemplos de ataques realizados por esse tipo de grupo estaria o vírus Stuxnet, desenvolvido para atacar sistemas SCADA em base SIEMENS. O Stuxnet foi propagado em fábricas de materiais nucleares Iranianas (Ultracentrífugas para enriquecimento de urânio), provocando a sabotagem de seus sistemas de controle. A análise realizada pelo grupo Symantec aponta que foram necessários mais de uma dezena de engenheiros de *software* em tempo integral, altamente qualificados, por mais de um ano para desenvolvimento do Stuxnet. (Gomes et al., 2021) Tais recursos empregados e a motivação do ataque a estrutura sensível de uma nação específica, levam a conclusão que o vírus foi encomendado por algum departamento de inteligência. (ZETTER., 2017)

2.3 Hackerterrorismo

Terroristas são grupos extremistas de uma dada orientação política, religiosa, ou ideológica, que buscam por meio de ações de sabotagem a promover suas ideias. (Baker et al., 2009)

Ainda não há um registro considerável de ataques terroristas cibernéticos a redes SCADAS, mas considerando os poucos custos e a facilidade envolvida nesses ataques, tais alvos se enquadram como ideais. (Nicholson et al., 2012)

2.4 Hackers criminosos

A modalidade de crime cibernético vem ganhando popularidade nos últimos anos. Em termos gerais, os criminosos sequestram via acesso remoto os sistemas e a infraestrutura

de TI de companhias, criptografam o acesso ao sistema, e solicitam uma recompensa em dinheiro para sua liberação. Por se tratar de um alvo fácil e estratégico, sistemas SCADA encaixam-se como alvos adequados ao crime cibernético, mesmo que no momento não haja muitos registros de ataques classificados nessa modalidade. (Nicholson et al., 2012)

2.5 Empregados descontentes / ataque interno

São os autores mais comuns de ataques internos a sistemas SCADA. A razão para os ataques pode variar de uma vingança a um desligamento indesejado da companhia, conflitos humanos, falta de motivação e reconhecimento, etc.

Um estudo da Internet Security Systems, concluiu que a maior parte das contas de acesso a sistemas SCADA não são nominais, mas sim genéricas, como "administrador", "engenheiro", de forma que a identidade do atacante fica camuflada, facilitando esse tipo de ataque. (Nicholson et al., 2012)

Um exemplo de ataque fora o realizado na estação de tratamento de água de Maroochy na Austrália, onde Vitek Boten, um engenheiro recém demitido da empresa, utilizou acessos conhecidos ao sistema de controle da companhia para transmitir milhares de metros cúbicos de água não tratada ao sistema pluvial da região. (Slay and Miller, 2007)

2.6 “Hobbistas”

“Hobbistas” no ambiente de guerra cibernética, são indivíduos cuja motivação de ataques não está em motivos criminosos, ou terroristas, mas sim na superação de desafios pessoais.

Historicamente cita-se o caso do hacker britânico Gary McKinnon, que extraiu informações sigilosas de 90 sistemas militares dos Estados Unidos alegando estar procurando pela evidência da existência de alienígenas. Ou o caso de um garoto polonês de 14 anos que em 2008 hackeou via um sistema de controle remoto o sistema de direção dos bondes elétricos da cidade de Lodz. (Nicholson et al., 2012)

2.7 Script kiddies

“Script Kiddies”, São indivíduos com pouco ou nenhum conhecimento de programação, e que utilizam ferramentas disponibilizadas na internet para executar invasões a sistemas. As motivações dos “Script Kiddies” são parecidas com a dos hobbistas, sendo muitas vezes de cunho pessoal. (Nicholson et al., 2012)

2.8 Hackativistas

Hackativismo corresponde a uma modalidade de ativismo político no ambiente da guerra cibernética. Os Hackativistas têm como motivação sabotar sistemas de corporações, bancos e governos que consideram contrários à sua ideologia política. (Nicholson et al., 2012)

3 | FERRAMENTAS DE SEGURANÇA PARA SISTEMAS SCADA

A maioria das redes de comunicação possuem um conjunto de métodos e técnicas comuns de segurança, como por exemplo “firewalls”.

A particularidade das redes em ambiente SCADA é que os métodos de segurança não podem:

- Interferir no determinismo do tráfego de informações.
- Bloquear o acesso do sistema a operadores, mesmo que este tenha errado sua senha de acesso diversas vezes.
- Requerer muita memória e longos tempos de processamento.

Mesmo com as restrições citadas, há um conjunto de medidas e melhores práticas normalmente aplicáveis a redes de arquitetura TCP/IP que devem ser considerados na implementação de redes em sistemas SCADA, sendo essas abordadas a seguir.

3.1 Firewalls

Trata-se de um elemento de proteção que monitora o fluxo de dados de uma rede confiável para uma rede não confiável tal como a internet. Um *firewall* fornece proteção contra vírus, códigos maliciosos, e invasões de rede. (Tanenbaum et al., 2003).

3.2 Zona Desmilitarizada (DMZ)

A zona desmilitarizada (DMZ) trata-se de uma “área franca”, uma camada que define o limite entre duas redes, no geral uma rede confiável interna e uma rede externa. (Tanenbaum et al., 2003)

A abordagem da implementação de zonas desmilitarizadas possibilita a conexão segura de redes com distintas políticas de segurança. De modo que o *firewall*, que está no limite entre a zona corporativa e a desmilitarizada, não permite o tráfego de informações impróprias a rede corporativa, e o *firewall* no limite da zona de automação impede o fluxo de dados não desejados ao ambiente SCADA.

O monitoramento na transmissão de dados também poderia ser feito apenas com o uso de um único *firewall* modificado a atender diversas políticas de segurança. No entanto certas políticas de segurança podem não ser completamente conciliatórias de modo que o *firewall* modificado torna-se como um ponto vulnerável da rede, impactando no conceito de defesa em profundidade *defense-in-deph* (Didier et al., 2011).

3.3 Rede Privada Virtual - VPN

A VPN é caracterizada pela configuração de *firewalls* nas redes corporativas locais, que criam um “túnel” na internet, permitindo o acesso seguro a rede corporativa por usuários remotos, desde que estes sejam devidamente cadastrados na VPN e obedeçam às normas de tráfego observadas pelo firewall. (Tanenbaum et al., 2003)

3.4 Sistemas detecção de intrusão (IDS) em ambiente scada

Sistemas detecção de intrusão de finem-se por soluções de software e hardware desenvolvidos para monitorar as atividades de um computador hospedeiro *host* ou a rede, com intuito de detectar a ocorrência de eventos maliciosos que buscam comprometer a confiabilidade, integridade e disponibilidade da rede. (Krutz, 2005)

3.5 Proposta de arquitetura de rede industrial

Em termos gerais, a segurança de redes SCADA e corporativas pode ser resumida em dois termos, segmentação e monitoramento. Todas as ferramentas de segurança abordadas até aqui buscam auxiliar em uma dessas funções. Em uma rede insegura, toda sua infraestrutura está conectada sem nenhuma definição de permissões, de forma que qualquer um que tenha acesso a rede pode atacá-la.

A segmentação define camadas e níveis de prioridade, onde a jurisdição de um usuário começa e termina. O monitoramento por sua vez identifica quem está fazendo o que e quando, possibilitando a de detecção da fonte de ataques.

Acima de possuir as melhores ferramentas de segurança, é importante definir como implementá-las de forma conjunta, afim de fato complementarem suas funções na garantia da totalidade da segurança do sistema. As propostas de junção dos elementos de segurança com a infraestrutura da define-se como “arquitetura”.

O manual Converged Plantwide Ethernet (CPwE) Design and Implementation, desenvolvido pela Rockwell Automation e a Cisco, aborda os passos e ponderações para uma adequada implementação de uma rede industrial. O documento fornece uma proposta de arquitetura de rede padrão, onde as áreas de controle e manufatura, rede corporativa interna, e rede externa (*internet*), são segregadas por zonas de desmilitarização e *firewalls* em seus extremos.

A implementação da arquitetura proposta pelo CPwE deve, assim como comentado, sempre considerar as realidades práticas de aplicação a aplicação. O emprego de outras ferramentas de segurança como softwares IDS, antivírus, etc., também devem ser realizados, desde que devidamente implementados nas camadas de segmentação da arquitetura, afim de otimizar as funções de segurança e não comprometer o funcionamento adequado da rede.

4 | APLICAÇÃO DE TECNICAS DE SEGURANÇA PARA SISTEMAS SCADA

Nessa seção será abordado em detalhes os princípios, diretrizes e normas mais comumente referenciados na implementação da linha de defesa de sistemas SCADA.

4.1 ISA-99

A ISA (sociedade internacional de automação), buscando padronizar os

procedimentos de segurança de sistemas SCADA, estabeleceu uma linha normativa específica para esse tema denominada ISA-99. (Knapp, 2014)

As normas ISA-99 vem sendo atualizadas de acordo com o estabelecimento de novas técnicas de mitigação de risco, sendo as últimas atualizações lançadas no ano de 2007.

5 | DEFESA EM PROFUNDIDADE

O princípio de defesa em profundidade “Defense in Depth” trata-se de uma abordagem adotada pelo departamento de defesa dos EUA, e muito comumente utilizado no meio corporativo, para definição de medidas de segurança de redes.

A abordagem de defesa em profundidade parte de três elementos críticos “pessoas, tecnologias e operações”, sendo esses abordados pelos seguintes passos:

- Defesa da rede e da infraestrutura
- Defesa das delimitações da rede
- Defesa do ambiente computacional
- Defesa das infraestruturas de suporte

5.1 Estratégia de implementação da defesa em profundidade

Existem diversas estratégias para a aplicação de uma estratégia de defesa em profundidade, no entanto o documento “Information Assurance Technical Framework (IATF). Realease 3.1” publicado pela Agencia Nacional de Segurança dos Estados Unidos NSA, adota uma estratégia comumente adotada como padrão, sendo seus passos tratados a seguir.

- Adquirir produtos de fabricação dedicada para sistemas de detecção de intrusão e sistemas de segurança e redes, e os instalar com um time interno de desenvolvimento não terceirizando essa tarefa
- Conduzir avaliações de vulnerabilidade.
- Conduzir treinamentos de segurança e de conscientização da necessidade das políticas de segurança.
- Criar um planejamento para caso de eventos maliciosos.
- Crie controle de segurança com redundância.
- Certifique que apenas pessoas autorizadas possam ter acesso físico as instalações da companhia.
- Instalar sistema de detecção de intrusão e criar plano de relatório de intrusão.

O documento também salienta os tipos mais comuns de ataque a sistemas SCADA

e a estratégia para mitiga-los, sendo esses ataques listados na sequência.

- Passivo: Interceptação de senha, monitoramento de redes de comunicação abertas.
- Ativo: Vírus, roubo de informação, quebra de criptografia
- Próximo: Ataques realizados por agentes próximos fisicamente da rede e os usuários.
- “Insiders”: Ataques realizados por agentes dentro da própria companhia.
- Distribuição: Modificação maliciosa de software durante sua estadia na fábrica ou durante a distribuição do *software*

6 | 21 PASSOS PARA AUMENTAR A SEGURANÇA CIBERNÉTICA DE REDES SCADA

Visando criar um guia orientativo de boas práticas de segurança para sistemas SCADA, o comitê de proteção presidencial as infraestruturas críticas dos EUA, juntamente com o departamento de energia Estadunidense, lançaram o documento intitulado Os 21 passos para aumentar a segurança cibernética de redes SCADA em setembro de 2002. (DoE, 2002). O documento é proposto como um material auxiliar para complementar as políticas e medidas de segurança de sistemas SCADA já existentes.

1. Identificar todas as conexões ao sistema SCADA.
2. Desconectar qualquer conexão desnecessária ao sistema SCADA.
3. Avaliar e fortalecer os níveis de segurança das conexões necessárias ao sistema SCADA.
4. Blinde as redes SCADA de acessos não desejáveis desabilitando ou removendo serviços não utilizados.
5. Não confie na falsa “impenetrabilidade” de protocolos proprietários para proteção do sistema.
6. Implemente as medidas de segurança do equipamento orientadas pelo fabricante.
7. Estabeleça uma forte relação de controle sobre qualquer meio de acesso ao sistema SCADA (roteadores, *modems*, *gateways*, etc).
8. Implemente sistemas de monitoramento de intrusão e estabeleça monitoramento uma rotina de 24 horas de monitoramento de incidentes.
9. Realize auditorias técnicas nos dispositivos do sistema SCADA e suas redes implementadas, assim como qualquer rede conectada ao sistema, afim de identificar ameaças a segurança.
10. Realize levantamento físico da segurança de acesso ao sistema SCADA e suas conexões.

11. Estabeleça “Equipes de Segurança SCADA” responsáveis por identificar e avaliar possíveis cenários de ataque.
12. Defina os níveis de prioridade dos usuários desde o administrador ao usuário final, definindo responsabilidade e o papel de cada usuário na manutenção da segurança cibernética.
13. Documente a arquitetura de Rede e identifique sistemas que fornecem funções críticas ou contêm informações sensíveis que necessitem de níveis adicionais de proteção.
14. Estabeleça um processo rigoroso de gerenciamento de riscos.
15. Crie uma estratégia de proteção de rede baseada no princípio da “defesa em profundidade” *Defense-in-depth*.
16. Identifique de forma clara os requisitos de segurança cibernética.
17. Estabeleça processos efetivos de gerenciamento da rede.
18. Conduza rotinas de auto acesso, afim de detectar vulnerabilidades no acesso do sistema.
19. Crie *backups* do sistema e planos de recuperação em caso de desastres.
20. O grupo diretor da companhia deve fomentar um constante clima de seriedade na implementação das medidas de segurança cibernética.
21. Estabelecer políticas, e conduzir treinamentos afim de conscientizar as pessoas dos riscos relacionados à segurança cibernética, e fazer-las cooperar com o sigilo das informações do sistema.

7 | EXEMPLO DE GRAU DE VULNERABILIDADE DE SISTEMAS SCADA INSEGUROS CONECTADOS A INTERNET

Buscando demonstrar a grande vulnerabilidade e a falha de aplicações de políticas adequadas de segurança, será documentado nesta secção, passos simples para se estabelecer uma conexão com qualquer sistema SCADA inseguro conectado à internet.

Dispositivos conectados à internet deixam “marcas” ou “*foot printing*” na rede, próprias de seus fabricantes, ou pelo padrão dos protocolos e portas de comunicação utilizados. Desta forma, com o auxílio de alguma ferramenta de *scanner* de rede, e possível encontrar todos os dispositivos conectados à *internet* de determinado fabricante assim como seus endereços de IP públicos. (Knapp, 2014)

Uma vez identificando o endereço de IP público de alguma CPU de controlador, ou cartão de Ethernet contacto a rede, pode-se estabelecer comunicação com o sistema SCADA a distância, e com as ferramentas de *softwares* do fabricante sabotar, espionar ou copiar programações e rotinas de manufatura de sistemas de automação.

Dentre as ferramentas de scanner de rede, destaca-se o portal SHODAN (www.shodan.io).

O portal SHODAN permite a busca de dispositivos na rede por fabricante, endereço físico, portas, protocolos de comunicação utilizados etc. O objetivo dos desenvolvedores do portal é possibilitar uma ferramenta poderosa que auxilie companhias a verificar o nível de segurança de suas aplicações *online*, assim como providenciar estatísticas de utilização da rede, por exemplo número de TVs inteligentes por fabricante num dado país etc. Da mesma forma que o SHODAN traz seus benefícios, torna-se também uma ferramenta muito útil para invasão e sequestro de sistemas inseguros conectados à internet. (Knapp, 2014)

Em sua versão gratuita o SHODAN possibilita realizar uma busca com até 10 resultados, tal limitação é eliminada com a compra de uma licença paga no portal.

A título de exemplo, a fig. 1 retrata a busca de cartões Ethernet 1756-ENBT da Rockwell Automation/ Allen-Bradley, conectados de maneira insegura na internet. Nos resultados é possível observar os endereços de IP público dos dispositivos, seus países de origem, números de série, fabricantes e endereços de IP local.

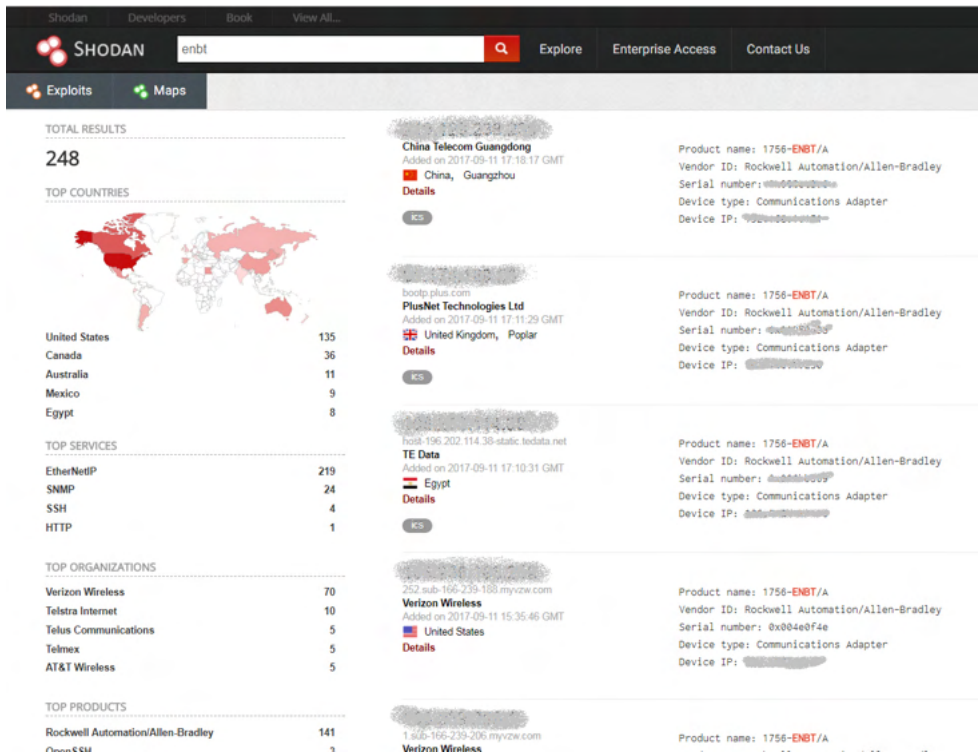
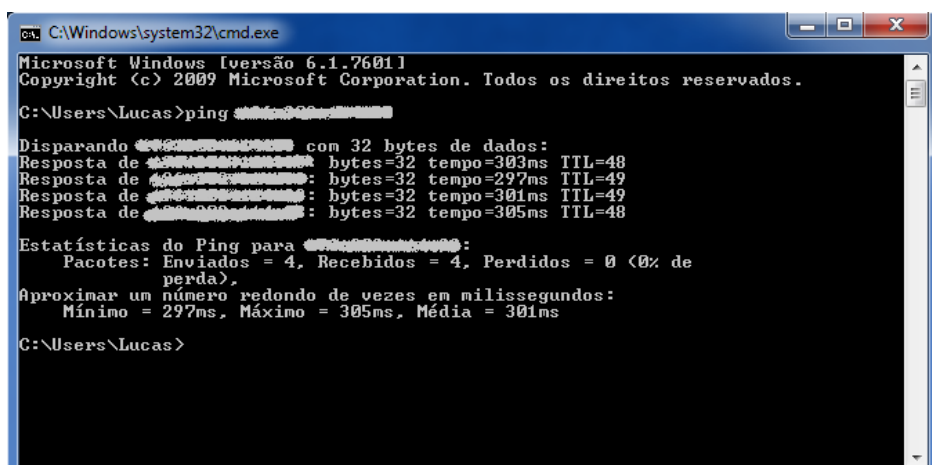


Figura 1: Exemplo de Busca do Cartões Ethernet 1756-ENBT da Rockwell Automation Conectados de Maneira Insegura a Internet

8 | ESTABELECENDO COMUNICAÇÃO COM SISTEMA SCADA INSEGURO

A busca no portal SHODAN proporcionou diversos endereços de IP públicos atribuídos a cartões ethernet 1756-ENBT da Rockwell Automation/ Allen Bradley ao redor do mundo. A título de seguir com a demonstração, selecionou-se o cartão 1756-ENBT de endereço 196.202.114.38 provindo de uma aplicação de sistema SCADA no Egito.

Através do comando “ping” testou-se no “prompt” de comando do windows a comunicação com cartão, sendo essa estabelecida com sucesso conforme observado na fig. 2.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [versão 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\Lucas>ping 196.202.114.38

Disparando 4 pacotes com 32 bytes de dados:
Resposta de 196.202.114.38: bytes=32 tempo=303ms TTL=48
Resposta de 196.202.114.38: bytes=32 tempo=297ms TTL=49
Resposta de 196.202.114.38: bytes=32 tempo=301ms TTL=49
Resposta de 196.202.114.38: bytes=32 tempo=305ms TTL=48

Estatísticas do Ping para 196.202.114.38:
    Pacotes: Enviados = 4, Recebidos = 4, Perdidos = 0 (0% de perda),
Aproximar um número redondo de vezes em milissegundos:
    Mínimo = 297ms, Máximo = 305ms, Média = 301ms

C:\Users\Lucas>
```

Figura 2: Teste de Comunicação com Cartão 1756-ENBT de Aplicação Remota Insegura

Possuindo os softwares de interface do fabricante, agora é possível estabelecer comunicação com o sistema SCADA remoto, isso possibilita reprogramar controladores, realizar “download” e “upload” de programas, mudar versões de *firmware* dos cartões do controlador, desligar periféricos etc.

Nesta demonstração apenas se estabeleceu a comunicação com o sistema SCADA remoto via o software de interface de comunicação da Rockwell Automation “RSLinx Classic”, cuja versão gratuita pode ser baixada diretamente pelo site da Rockwell Automation (www.ab.com).

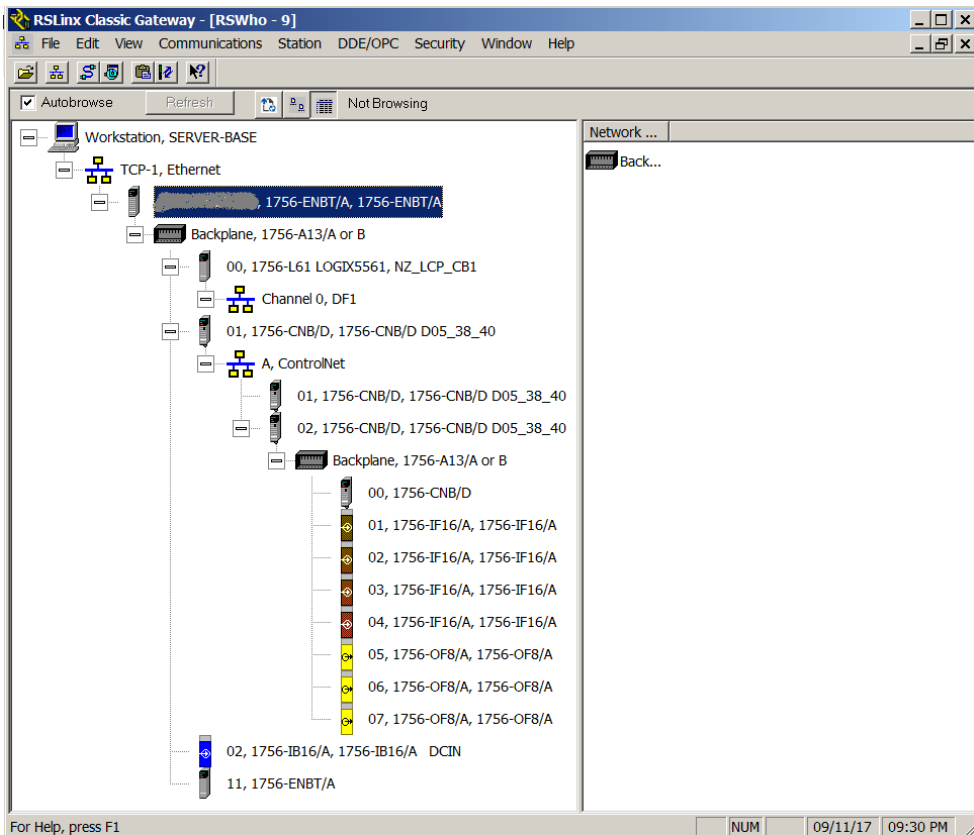


Figura 3: Estabelecimento de Comunicação com Sistema SCADA inseguro via *software* “RSLink Classic”

Em resumo essa demonstração deixou claro, que apenas com ferramentas gratuitas e em poucos minutos é possível estabelecer comunicação e realizar ataques a sistemas SCADA inseguros, caindo por terra a teoria da “invulnerabilidade de sistemas SCADA.

9 | CONCLUSÕES

A problemática posta neste trabalho enaltece a importância da mudança de mentalidade quanto a redes de automação conectadas a sistemas corporativos e a internet.

Como sistemas de automação foram por anos tratados como “ilhas” e não classificadas como parte da infraestrutura de TI, falta esclarecimento na hora de conectar o mundo da automação a redes externas, levando grandes empresas e departamentos públicos a simplesmente “conectarem” a rede de automação a redes externas sem nenhuma clara política de segurança. Pontos falhos como este levam a grandes ameaças como a exposta neste trabalho, onde em apenas 15 minutos com uma busca na *internet* e um *software* gratuito fora possível estabelecer uma conexão com um sistema supervisorio

de tratamento de água e esgoto.

A implementação dos métodos de mitigação de ameaças apresentados exige um trabalho específico cenário a cenário conforme a arquitetura de rede da planta industrial. Isso não exige necessariamente uma parada nas operações da planta, mas sim um planejamento minucioso tanto de infraestrutura como de treinamento humano para possibilitar conectar as antigas “ilhas de automação” a redes externas de forma a mitigar ao máximo os riscos de um ataque.

Por fim, na era do cibernético, o cyber terrorismo e a guerra cibernética, ambientes SCADA tornam-se os alvos de maior impacto físico e econômico, além de serem atualmente mais vulneráveis as redes de TI dado a pouca importância que se dá a segurança de suas redes. É importante salientar que este é um tema de segurança nacional e que sua importância deve ser enfatizada para toda a comunidade industrial.

REFERÊNCIAS

Andrade, Alexandre Acácio de; Facó, Júlio Francisco Blumetti; Jorge, Ricardo Reolon; Quintino, Luis Fernando; Medio, Kevin Branciforti de. A utilização de sistemas MES para melhorar KPIs de produção, Estudos de caso Industrial Brasileiro. Engenharia de produção e a Indústria 4.0 2. 1ed.: AYA Editora, 2020, v., p. 28-43.

Baker, S. A., Waterman, S. and Ivanov, G. (2009). In the crossfire: Critical infrastructure in the age of cyber war, McAfee, Incorporated.

Dias, J. E. C.; Castro Filho, F. G.; Acácio, Alexandre Andrade; Facó, Júlio Francisco Blumetti. The Strategic Role of MES Systems in the Context of Industry 4.0. In: Pereira L.; Carvalho J.; Krus P.; Klosthen M.; De Negri V.(eds). (Org.). Proceedings of IDEAS 2019. 1ed. Cham, Suíça: Springer, 2020, v. 198, p. 52-61 https://doi.org/10.1007/978-3-030-55374-6_6

Didier, P., Macias, F., Harstad, J., Antholine, R., Johnston, S. A., Piyevsky, S., Schillace, M., Wilcox, G., Zaniewski, D. and Zuponic, S. (2011). Converged plantwide ethernet (cpwe) design and implementation guide, Cisco Systems and Rockwell Automation.

DoE, U. (2002). 21 steps to improve cyber security of scada networks.

Falliere, N., Murchu, L. O. and Chien, E. (2011). W32. stuxnet dossier, White paper, Symantec Corp., Security Response 5(6): 29.

Felser, M. and Sauter, T. (2002). The fieldbus war: history or short break between battles?, Factory Communication Systems, 2002. 4th IEEE International Workshop on, IEEE, pp. 73-80.

Felser, M. and Sauter, T. (2004). Standardization of industrial ethernet-the next battlefield?, Factory Communication Systems, 2004. Proceedings. 2004 IEEE International Workshop on, IEEE, pp. 413-420.

Gomes, Filipe Calado; de Andrade A.A; Gasi, Fernando Industry 4.0 and high-risk operating technologies: The Nuclear industry In: 14th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON), 2021, São Paulo -SP. XIV - INDUSCON, 2021. DOI: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529836

Igure, V. M., Laughter, S. A. and Williams, R. D. (2006). Security issues in scada networks, *Computers & Security* 25(7): 498-506.

Knapp, E. D. (2014). *Industrial Network Security: Securing critical infrastructure networks for smart grid, SCADA, and other Industrial Control Systems*, Syngress.

Krutz, R. L. (2005). *Securing SCADA systems*, John Wiley & Sons.

Nicholson, A., Webber, S., Dyer, S., Patel, T. and Janicke, H. (2012). Scada security in the light of cyber-warfare, *Computers & Security* 31(4): 418-436.

Slay, J. and Miller, M. (2007). Lessons learned from the maroochy water breach, *Critical infrastructure protection* pp. 73-82.

Tanenbaum, A. S. et al. (2003). *Computer networks*, 4-th edition, ed: Prentice Hall.

Thomesse, J. P. (1998). A review of the fieldbuses, *Annual reviews in Control* 22: 35-45.

Winkel, L. (2006). Real-time ethernet in iec 61784-2 and iec 61158 series, *Industrial Informatics*, 2006 IEEE International Conference on, IEEE, pp. 246-250.

Zetter, Kim. *Contagem regressiva até zero day*. Brasport, 2017.

SOBRE O ORGANIZADOR

ERNANE ROSA MARTINS - Pós-Doutorado em E-learning pela Universidade Fernando Pessoa (UFP). Doutor em Ciência da Informação com ênfase em Sistemas, Tecnologias e Gestão da Informação, na Universidade Fernando Pessoa (UFP), em Porto/Portugal, reconhecido como equivalente ao curso de Doutorado em Ciência da Informação, da UnB. Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela UCG, possui Pós-Graduação em Tecnologia em Gestão da Informação, Graduação em Ciência da Computação e Graduação em Sistemas de Informação. Professor de Informática no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG (Câmpus Luziânia) ministrando disciplinas nas áreas de Engenharia de Software, Desenvolvimento de Sistemas, Linguagens de Programação, Banco de Dados e Gestão em Tecnologia da Informação. Pesquisador líder do Núcleo de Inovação, Tecnologia e Educação (NITE), certificado pelo IFG no CNPq. Membro do Conselho Editorial da Editora Científica Digital. Membro do Conselho Técnico Científico da Atena Editora. Membro do Corpo Editorial da Pantanal Editora. Membro do Conselho Editorial da Editora Bagai. Membro do Conselho Editorial da Editora e-Publicar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1543-1108>. Personal homepage: <https://ernanemartins.wordpress.com/>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Armazenamento 1, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 18, 19, 48, 50, 51, 52, 53, 55, 65, 66

C

Cadastro 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29

E

Energia 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 19, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 75

Ethernet 67, 69, 73, 76, 77, 78, 80, 81

F

Fotovoltaica 1, 2, 4, 5, 10, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 57, 61, 64, 65

G

Geração 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 21, 25, 30, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64

H

Hacking 30, 34, 46

Hidrogênio 48, 49, 51, 52, 55, 56, 59, 62, 63, 66

I

Informações 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 32, 71, 72, 76

Integração 1, 48, 49, 51, 52, 56, 63, 66

Internet 30, 32, 38, 67, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 79

L

Landing-page 30, 33, 34, 42, 47

M

Marketing 30, 31, 32, 33, 35, 41, 46, 47

Multifinalitário 21, 22, 23, 25, 28, 29

P

Payback 1, 2, 8, 11, 17, 18

Protocolos 67, 69, 75, 76, 77

R

Relatórios 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28

S

Scada 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81

Segurança 7, 23, 40, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80

Sistemas 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 15, 17, 18, 23, 24, 28, 29, 51, 52, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 82

Software 4, 21, 22, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 34, 42, 46, 68, 70, 73, 75, 78, 79, 82

Solar 3, 4, 5, 6, 13, 15, 18, 19, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66


T

Tecnologia 1, 8, 17, 18, 19, 46, 55, 67, 69, 70, 82

V

Vendas 30, 31, 34, 35, 36, 38, 42, 43, 46

Viabilidade 1, 4, 11, 12

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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


www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO APLICADA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO APLICADA