

## DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS HÍBRIDOS BASEADOS EM ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA COMUNIDADES ISOLADAS

Tarcísio de O. Klein<sup>1</sup> (IC), Diego M. Y. Maya (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá.

**Palavras-chave:** Simulação. Viabilidade econômica. Georreferenciação. Análise de capitais.

### Introdução

No Brasil, existem cerca de 250 comunidades isoladas que não possuem conexão com o Sistema Interligado Internacional (SIN), segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Desta maneira, busca-se simular sistemas híbridos de energias renováveis (SHER) capazes de disponibilizar energia à essas localidades.

Assim, objetivou-se o desenvolvimento de uma metodologia estruturada para verificar configurações ótimas de tecnologias renováveis para gerar e armazenar energia e, além disso, concentrou-se em estudar ferramentas computacionais que permitissem projetar diferentes fontes energéticas em locais isolados. Ademais, focou-se em coletar informações atmosféricas de bases de dados e sistemas de informações geográficas, outrossim, pôde-se analisar os recursos e diferentes cenários explorando-se a viabilidade técnico-econômica dos sistemas híbridos propostos.

Então, o projeto tem a premissa de possibilitar a criação de novas redes de energias renováveis para locais com baixo acesso a eletricidade, prevendo fatores econômicos e particularizando os equipamentos e a potência baseada nas regiões analisadas, o que favoreceria o interesse dos investidores e a baixa emissão de poluentes, promovendo melhores condições de vida e oportunidades aos residentes das comunidades que se encontram em isolamento

Para tal, baseando-se em estudos dentro da mesma linha ideológica do projeto, conheceu-se os diferentes *softwares* disponíveis no mercado e definiu-se a melhor ferramenta computacional para as simulações propostas. Também se realizou um estudo das capacidades de cálculo do programa, implementando-se os parâmetros disponíveis em Shamachurn (2021), cujo descreve um experimento com um modelo de sistema renovável *off-grid* para uma casa localizada em Paris, França.

Enfim, elaborou-se um SHER direcionado à Vila Céu do Mapiá, localizada dentro da Floresta Nacional dos Purus, no Estado do Amazonas, vislumbrando a substituição de sistemas descentralizados e adaptados para o acesso à energia elétrica por um conjunto de equipamentos dimensionados para a comunidade com o menor custo de

investimento, maior sustentabilidade e controle energético.

O desenvolvimento do projeto energético baseou-se em um modelo de consumo criado para ser possível descrever as necessidades na comunidade. Assim, pôde-se variar os elementos utilizados e os parâmetros de referência a fim de entender quais cenários seriam mais adequados ao local definido.

### Metodologia

Buscando verificar os conteúdos mais recentes diante do tema principal do projeto, programou-se o sistema de alertas de sites como o *ScienceDirect* e o *Google Scholar* permitindo a indicação rotineira de bons artigos e trabalhos voltados para o desenvolvimento de sistemas híbridos, além de simulações envolvendo o iHOGA, ferramenta computacional escolhida para as simulações. Com um volume suficiente de textos e pesquisas, identificou-se e explorou-se os textos mais relevantes para o contexto inicial dos estudos, assim, com a evolução do conhecimento dentro dos dados especificados iniciou-se o processo de conhecer o software selecionado para a modelagem, e também, entender como operá-lo adequadamente, considerando desde a tela inicial, até as opções mais avançadas.

Já com o domínio do simulador, realizou-se uma implementação de dados baseada nos trabalhos de Shamachurn (2021) reproduzindo o experimento com a casa em Paris, França. Nesse sentido, buscou-se obter através do processo de simulação os mesmos resultados contidos na Tabela 1.

Ademais, desenvolveu-se tutoriais simples de instalação e uso do programa de modelagem para facilitar a reprodução de outros experimentos e mapeou-se os principais pontos de interesse da ferramenta simuladora para garantir agilidade nos processos futuros de obtenção de resultados, assim como uma integração mais veloz em relação aos novos membros.

Tabela 1. Dados, segundo para Shamachurn (2021) o comparativo final com os resultados obtidos pela modelagem.

Variáveis	Dado do artigo
Casos Avaliados	26.978
Custo da Energia (COE)	0,28 €/kWh
CO2 Emissão	893 kg/ano
CO2 Emissão Geradores	263 kg/ano
<b>Menor VPL</b>	<b>69.068,50 €</b>

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela 2. Modelo padrão de casa para realizar a simulação da vila.

Equipamento	Potência (W)	Quantidade
Liquidificador	300	1
Geladeira	250	1
Ventilador	80	2
Lâmpadas	9	5
Tomadas	80	8
Chuveiro	5500	1
<b>Total</b>	<b>6219</b>	<b>18</b>

Fonte: KLEIN et al., 2022.

Optando-se pela participação do Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, com foco em Energia, elaborou-se um sistema híbrido capaz de suprir a demanda da Vila Céu do Mapiá, localizada na Figura 1, considerada comunidade isolada, na região Norte do Brasil, no estado do Amazonas.

Figura 1. Localização da Vila Céu do Mapiá.



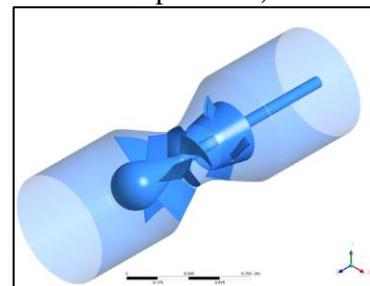
Fonte: KLEIN et al., 2022.

Tomando conhecimento das funções avançadas disponíveis na ferramenta de simulação, explorou-se os capitais disponíveis na região analisada, assim como o impacto de diferentes fontes de energia dentro do sistema híbrido. Também, devido à baixa quantidade de informações disponíveis em relação à localidade, desenvolveu-se um modelo padrão de casa para supor uma demanda energética próxima a real, como discriminado na Tabela 2, evitando assim a ocorrência de super ou subdimensionamento dos equipamentos, ou seja, garantindo-se a viabilidade econômica do projeto, além dos menores custos de energia.

Na sequência, com os resultados obtidos através das simulações, elaborou-se com os envolvidos no projeto, um artigo, cujo, avalia a inserção de um sistema híbrido na comunidade isolada escolhida, com informações para cenários diferentes e também, considerando os custos e emissão de gases do efeito estufa. O artigo colaborativo, intitulado “Implementação de um Sistema Híbrido com Energias Renováveis (solar e eólico com armazenamento de energia) de Geração Distribuída: Um Estudo de Caso Aplicado à Vila Céu Do Mapiá - Amazonas, Brasil”, compila os dados mais importantes, segundo o foco do estudo, na elaboração de um sistema híbrido no local escolhido.

Enfim, explorou-se a utilidade e funcionamento de turbinas de queda ultrabaixa, sendo o equipamento representado pela Figura 2, além de realizar sua inserção dentro do iHOGA, possibilitando maior diversidades de fontes renováveis de energia para as simulações.

Figura 6. Turbina de queda ultrabaixa (modelo 3D simplificado).



Fonte: BOTAN et al., 2021.

Assim, finalizou-se as atividades do ciclo do projeto realizando-se propostas de outras localizações de interesse, já avaliando os capitais e necessidade da instalação de uma rede híbrida, além da disponibilidade de capitais para tal.

### Resultados e discussão

Dentre as atividades desenvolvidas, os primeiros resultados obtidos dizem respeito à modelagem para a comparação com os resultados obtidos por Shamachurn (2021). Com base nos parâmetros e dados do artigo, pôde-se verificar a replicabilidade das simulações realizadas e obteve-se os dados da Tabela 3, que compara os diferentes valores obtidos.

Tabela 3. Comparação do valor do artigo com a melhor simulação obtida.

Variáveis	Dado do artigo	Dado da simulação 1
Casos Avaliados	26.978	26.600
Custo da Energia (COE)	0,28 €/kWh	0,33 €/kWh
CO2 Emissão	893 kg/ano	1067 kg/ano
CO2 Emissão Geradores	263 kg/ano	452 kg/ano

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Ao analisar os equipamentos observa-se uma discrepância entre as turbinas eólicas sugeridas, além dos módulos solares. Interpreta-se tal variação pensando na variação do preço de mercado dos itens que se apresentaram como diferentes, favorecendo uma redução do Valor Presente Líquido (VPL) e por isso não foi possível igualar a simulação às informações de Shamachurn (2021).

Reconhecendo como aceitáveis as diferenças associados aos resultados encontrados para analisar a repetibilidade de valores, focou-se na elaboração de um sistema híbrido de energia renovável original, construído para um caso real de comunidade isolada avaliando três cenários de geração, sendo:

C1. Sistema híbrido com a utilização de placas fotovoltaicas, turbina eólica, gerador de backup, inversor e armazenamento de energia por baterias de Li-íon.

C2. Sistema híbrido com a utilização de placas fotovoltaicas, turbina eólica, gerador de backup e armazenamento baseado em células de combustível.

C3. Sistema híbrido com a utilização de placas fotovoltaicas, turbina eólica, gerador de backup e armazenamento baseado em célula de combustível e baterias de Li-íon operando simultaneamente.

Assim, para a Vila Céu do Mapiá, obteve-se uma configuração de equipamentos para o primeiro cenário, discriminada na Tabela 4, com menor custo baseado em parâmetros pré-estabelecidos.

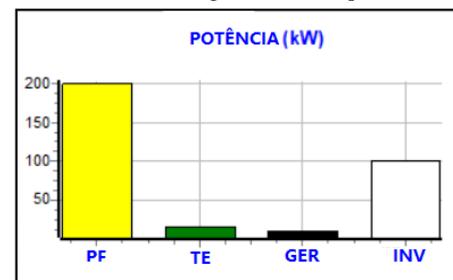
Tabela 4. Equipamentos sugeridos pela modelagem em C1 para a Vila Céu do Mapiá.

Equipamento	Tipo	Quantidade
Placas Fotovoltaicas	100kWp	2
Turbinas Eólicas	14,7kW para 14m/s	1
Geradores Diesel	10kVA	1
Inversores	100kVA	1
Baterias	480kWh	1

Fonte: KLEIN et al., 2022.

Nesse sentido, dentro dos equipamentos utilizados verifica-se a maior potência associada às placas fotovoltaicas, isto pois, identificou-se que o maior potencial de geração na região analisada estava associado a energia solar, além disso, o gerador escolhido oferece baixa potência, também indo de encontro ao alto potencial de captação de luz solar no local determinado, que pode ser melhor visualizado na Figura 7.

Figura 7. Distribuição da potência dos equipamentos ótimos dados pela simulação C1.

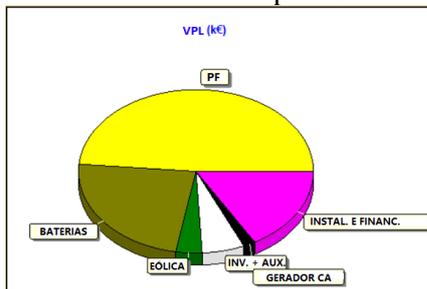


Fonte: KLEIN et al., 2022.

Verifica-se então que, graficamente a diferença de potência entre a turbina eólica e os painéis solares cresce e confirma a base de geração na região Norte onde se situa a vila escolhida.

Seguindo, analisa-se o gráfico de VPL (Figura 8) encontrado para o sistema dimensionado segundo C1, considerando todos os equipamentos e custos associados ao projeto.

Figura 8. Valores de VPL discriminados de acordo com diferentes custos para C1.



Fonte: KLEIN et al., 2022.

Pode-se observar então que as placas fotovoltaicas em associação às baterias representam três quartos do projeto total, sendo então, o foco de uma possível otimização para um sistema híbrido utilizando os equipamentos de C1.

No Cenário 2, observa-se um aumento na potência dos geradores e uma diminuição da presença de energias renováveis. Desta maneira, verifica-se um sistema híbrido incapaz de atender a demanda e, portanto, utilizando-se de seu backup para garantir o abastecimento energético da comunidade, justificando o alto valor do custo unitário do kWh para C2 na Tabela 5.

Tabela 5. Custo por kWh gerado de cada cenário.

Cenário	Custo (€)
C1	0,17
C2	0,51
C3	0,19

Fonte: KLEIN et al., 2022.

Para C3, tem-se a mescla dos equipamentos dos outros dois cenários, portanto, tem-se o grau elevado de complexidade na sua instalação em relação a C1, assim como uma elevação considerável no custo de energia.

Determina-se então, que no caso analisado, um sistema simples compreendendo somente energia fotovoltaica e eólica seria o que melhor atenderia as necessidades da Vila Céu do Mapiá julgando somente pelos custos. Todavia analisando-se impacto ambiental, outros capitais não incluídos e fontes alternativas de armazenamento de energia, é possível utilizar outros sistemas híbridos renováveis até mais eficientes ou mais integrados a comunidade.

## Conclusões

Com base nos resultados obtidos, constata-se que as energias renováveis mais difundidas comercialmente apresentam melhor custo benefício e, portanto, são mais

vantajosas aos sistemas simulados.

Além disso, compreende-se que as condições de vida dos residentes de uma comunidade isolada, como é o caso da Vila Céu do Mapiá, seriam impulsionadas pela disponibilidade de energia de maneira segura e centralizada.

E ainda, haveriam aberturas para a otimização do sistema desenvolvido, visto que, a substituição do sistema de armazenamento por métodos atuais poderia reduzir tanto os custos totais, quanto a emissão de dióxido de carbono no balanço final.

Por fim, verificou-se ser possível desenvolver sistemas híbridos ótimos para atender a demanda de diversas localidades, ademais, estendendo o trabalho a outras regiões com carência de energia elétrica.

## Agradecimento

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, FAPEMIG; pelo financiamento do Projeto: “simulação e otimização de sistemas híbridos isolados de geração de energia elétrica com base em energias renováveis [PROCESSO APQ-01932-21] executado na Universidade Federal de Itajubá sob o edital 001/2021 - Demanda universal, registro DPI UNIFEI Nro: PVDI208-2021; à Universidade Federal de Itajubá.; ao Núcleo de Excelência em Sistemas Térmicos, NEST; ao professor Dr. Diego Mauricio Yepes Maya e a professora Dra. Angie Lizeth Espinosa Sarmiento.

## Referências

BOTAN, A. C. B. et al. Comparative analysis for distributed generation using ultra-low head hydro, solar and wind energies. *International Journal of Energy Research*, v. 45, n. 11, p. 16310–16328, 1 set. 2021.

EPE. “Sistemas Isolados”. Publicações. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/sistemas-isolados>.

SHAMACHURN, H. Optimization of an off-grid domestic Hybrid Energy System in suburban Paris using iHOGA software. *Renewable Energy Focus*, v. 37, 1 jun. 2021.

KLEIN, A., MARTINS, I. V. M., SANTIAGO, P. H. R., KLEIN, T. O., XAVIER, T. G., MAYA, D. M. Y., SARMIENTO, A. L. E. Implementação de um Sistema Híbrido com Energias Renováveis (solar e eólico com armazenamento de energia) de Geração Distribuída: Um Estudo de Caso Aplicado à Vila Céu Do Mapiá - Amazonas, Brasil. *XV Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica*. Madrid, Espanha. 2022.