

# **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**

*Implementación de Un Sistema Híbrido con Energías Renovables (solar y eólica con acumulación de energía) de Generación Distribuida: Un Estudio de Caso Aplicado a Vila Céu Do Mapiá – Amazonas, Brasil*

*Implementation of a Hybrid System with Renewable Energies (solar and wind with energy storage) of Distributed Generation: A Case Study Applied to Vila Céu Do Mapiá - Amazonas, Brazil.*

**Amanda Klein<sup>1</sup>, Igor V. de M. Martins<sup>2</sup>, Paulo H. R. Santiago<sup>3</sup>, Tarcísio de O. Klein<sup>4</sup>, Thais Gonçalves Xavier<sup>5</sup>, Diego M. Y. Maya<sup>6</sup>, Angie L. E. Sarmiento<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Grupo TIES (Tecnologias Integradas e Engenharia Sustentável), IMC, Universidade Federal de Itajubá, Brasil. E-mail: amandaklein@unifei.edu.br

<sup>2</sup> Grupo TIES (Tecnologias Integradas e Engenharia Sustentável), IEM, Universidade Federal de Itajubá, Brasil. E-mail: d2019006405@unifei.edu.br

<sup>3</sup> Grupo TIES (Tecnologias Integradas e Engenharia Sustentável), IEM, Universidade Federal de Itajubá, Brasil. E-mail: phrsantiago@unifei.edu.br

<sup>4</sup> Grupo TIES (Tecnologias Integradas e Engenharia Sustentável), IRN, Universidade Federal de Itajubá, Brasil. E-mail: tarcisioklein@unifei.edu.br

<sup>5</sup> Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída - NEST. Grupo TIES (Tecnologias Integradas e Engenharia Sustentável), IEM, Universidade Federal de Itajubá, Brasil. Email: d2022100202@unifei.edu.br

<sup>6</sup> Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída - NEST. Grupo TIES (Tecnologias Integradas e Engenharia Sustentável), IEM, Universidade Federal de Itajubá, Brasil. E-mail: diegoyepes@unifei.edu.br

<sup>7</sup> Grupo TIES (Tecnologias Integradas e Engenharia Sustentável), IEM, Universidade Federal de Itajubá, Brasil. Email: angieespinosa@unifei.edu.br

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho consiste em modelar e simular a implantação de uma rede híbrida de energia renovável para uma comunidade isolada do sistema interligado Brasileiro localizada na cidade de Pauini, no estado do Amazonas. Foi estabelecido o estado da arte em termos da demanda energética padrão para a localidade e mediante pesquisa e seleção de ferramentas de georreferenciação foi escolhido o local e os dados meteorológicos foram coletados a partir de informações contidas em bases de dados da NASA. Posteriormente foram definidos 3 cenários possíveis para um sistema híbrido no local, considerando energia solar fotovoltaica, energia eólica e variações para gerador e armazenamento de energia com baterias e/ou células de combustível. Por fim, foi possível determinar o comportamento da rede como um todo, assim como o funcionamento individual de cada equipamento e conjunto de equipamentos utilizados, obtendo-se custos totais, emissões totais de CO<sub>2</sub>, equipamentos recomendados e estratégias de controle. Como resultado o custo de geração para os cenários C1, C2, e C3 seria de: 0,17; 0,51 e 0,19 €/kW. O custo da energia aumenta de C1 para C3, devido ao alto custo do conjunto eletrolisador e da célula de combustível, sendo que, em relação a C2, o elevado valor determinado diz respeito ao preço do combustível para abastecer os geradores que possuem maior atividade do que o mesmo equipamento em C1 e C3. Assim o sistema de armazenamento por baterias se destaca tanto por sua elevada potência, quanto por seu custo, sendo assim, apesar de sua utilização ser a mais fácil em relação às células de combustível, ainda sim outras formas de resguardo energético para suprir as intermitências das fontes geradores deveriam ser considerados para garantir o maior custo benefício do projeto.

**Palavras chave:** Modelagem e simulação; comunidade isolada; rede híbrida; energia renovável, Smart Grid.

## Abstract

The objective of this work is to model and simulate the implementation of a hybrid renewable energy grid for a community isolated from the Brazilian interconnected system located in the city of Pauini, in the state of Amazonas. The state of the art was established in terms of the standard energy demand for the locality and through research and selection of georeferencing tools the site was chosen and the meteorological data was collected from information contained in NASA databases. Subsequently 3 possible scenarios for a hybrid system at the site were defined, considering solar PV, wind energy, and variations for generator and energy storage with batteries and/or fuel cells.

Finally, it was possible to determine the behavior of the grid as a whole, as well as the individual operation of each equipment and set of equipment used, obtaining total costs, total CO<sub>2</sub> emissions, recommended equipment and control strategies. As a result the cost of generation for scenarios C1, C2, and C3 would be: 0.17; 0.51 and 0.19 €/kW. The cost of energy increases from C1 to C3, due to the high cost of the electrolyzer set and the fuel cell, and for C2, the high value determined relates to the price of fuel to supply the generators that have more activity than the same equipment in C1 and C3. Thus, the battery storage system stands out both for its high power and its cost, thus, although its use is easier than that of fuel cells, other forms of energy backup to supply the intermitencies of the generator sources should still be considered to ensure the greatest cost benefit of the project.

**Keywords:** Modeling and simulation; isolated community; hybrid grid; renewable energy; Smart Grid.

## 1. Introdução

A nível mundial, a eletricidade, assim como a água potável, se tornaram indispensáveis ao desenvolvimento de uma sociedade. Assim, países desenvolvidos necessitam de maiores quantidades de energia para suprir a demanda de sua população. Contudo, em países subdesenvolvidos, o acesso à eletricidade em áreas isoladas é limitado devido à infraestrutura e às precárias condições econômicas das comunidades em potencial. Nesse sentido, torna-se viável a geração de energia distribuída em locais isolados, permitindo o acesso à eletricidade próximo aos consumidores, podendo atuar de forma autônoma ou complementar à rede elétrica.

Nesse contexto, a opção convencional de geração elétrica é o gerador a diesel, que é desvantajoso em relação ao transporte do combustível e manutenção, além de emitir poluentes ao meio ambiente. Embora haja estudos e avanços na área de fontes de energias renováveis, uma alternativa ao gerador a diesel, ainda não se pode ter confiança plena em sua utilização, já que a maior desvantagem é seu comportamento dependente do clima. Desse modo, torna-se necessária a combinação de mais de uma fonte para ter um sistema confiável, resultando nos chamados sistemas híbridos.

Buscando explorar a sustentabilidade financeira em termos de lucros e subsídios das redes híbridas, Castro et al. (2022) analisou os lucros potenciais e as necessidades de subsídio dos sistemas híbridos em 634 ilhas filipinas fora de rede elétrica. À partir de um banco de dados das ilhas em estudo, realizou-se análises técnico-econômicas e de rentabilidade,

revelando que ilhas maiores, apesar de possuírem maior proporção de tecnologias, com a implantação, os custos de capital aumentaram, assim como os subsídios para manter a ilha quando a rede instalada não está sendo rentável. Assim, Castro et al. (2022) argumenta que tanto o setor privado quanto o governamental podem se unir para gerar benefícios para regiões maiores e menores, respectivamente, aumentando o acesso à energia em regiões isoladas.

Além disso, Jahangir et al. (2022) apresentou uma abordagem diferente ao analisar as reduções de carbono emitidas em função de um sistema híbrido de energia renovável. Desse modo, foi realizada uma pesquisa, onde foram feitas simulações em um único estudo de caso, levando em consideração, também, a sensibilidade de vários anos para determinar a confiabilidade dos resultados obtidos. Ao final, os resultados indicaram que ao utilizar um sistema híbrido, uma média de 778 toneladas de emissões de carbono por ano podem ser evitadas.

Atualmente, no Brasil, de acordo com a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) [3], existem 250 localidades isoladas, sendo a maior parte na região Norte. Assim, as entidades governamentais responsáveis apresentam propostas para abastecimento energético destas áreas, além de leilões dos sistemas isolados existentes. Dentre essas comunidades, existe a vila Céu do Mapiá, localizada na Floresta Nacional dos Purus, no sudoeste do estado do Amazonas, Brasil [4]. Esta, só pode ser acessada por meio fluvial, o que dificulta a utilização de linhas de transmissão de eletricidade. Além disso, os atuais meios de geração são os convencionais, citados anteriormente. Uma vez que está localizada em uma

área florestal, a comunidade Céu do Mapiá apresenta potencial solar e eólico para geração de energia elétrica, tornando possível a utilização de um sistema híbrido de energia quando combinada com outra fonte.

Logo, o presente trabalho tem o objetivo de discutir os potenciais energéticos acerca da região onde a vila se encontra, a fim de desenvolver um sistema híbrido que seja capaz de atender às demandas energéticas da comunidade, mediante a utilização de modelos computacionais (*Software* iHOGA [5]), para verificar a viabilidade da implementação de um sistema híbrido de energia renovável, de geração distribuída, na vila Céu do Mapiá.

## 2. Metodologia

Para realização deste trabalho, a metodologia foi composta de quatro etapas: estado da arte, pesquisa e seleção de ferramentas de georreferenciação, escolha do local objeto de estudo e simulações com os dados meteorológicos coletados a partir de informações contidas em bases de dados meteorológicas. À seguir, o detalhamento de como cada etapa foi realizada:

### 2.1 Estado da Arte

A literatura científica reporta avanços em sistemas de informação necessários para simular o sistema híbrido, quais tecnologias são utilizadas e estão disponíveis atualmente, além da utilização do *software* iHOGA [5]. Ademais, foi necessário o conhecimento sobre as energias renováveis, os métodos de geração de eletricidade existentes e quais os seus impactos, para compreender o funcionamento de sistemas híbridos.

### 2.2 Ferramentas de Georreferenciação

Foi pesquisado acerca das principais fontes de dados de georreferência atuais e selecionadas as ferramentas que mais se adequaram ao objetivo do projeto, de acordo com a variedade de informações acessíveis e intervalo de tempo disponível. Dessa forma, foi definido como base de dados o POWER Data Access Viewer [6], base de dados disponibilizada pela NASA [7].

### 2.3 Escolha do Local Objeto de Estudo

Realizou-se uma busca das informações sobre as localidades isoladas e suas características, no Brasil, de acordo com a EPE [3]. Para escolher o objeto de estudo, foram observadas características em potenciais, como irradiação solar, clima, disponibilidade de biomassa, velocidade dos ventos na região e proximidade dos cursos d'água. Também, foi feito um levantamento sobre as necessidades

energéticas e se era possível a instalação de uma rede autônoma. Por último, se a possível região tiver informações acessíveis e atualizadas acerca de onde se localiza. Partindo da análise realizada, a vila Céu do Mapiá, localizada na Floresta Nacional dos Purus, no sudoeste do estado do Amazonas, Brasil [4], foi definida como objeto de estudo deste trabalho.



Figura 1. Localização da Vila Céu do Mapiá. Fonte: Google (2022).

### 2.4 Modelagem e Simulação

Como ponto de partida, definiu-se uma demanda energética a ser suprida, que estabeleceu-se a partir do número de habitantes do local escolhido, encontrado na página da Vila Céu do Mapiá [4], que estaria em torno de 600 pessoas. Na região Norte do Brasil, onde se situa a vila estudada, há o consumo de aproximadamente 46,5 kWh por habitante mensalmente [8], entretanto, considera-se que esse valor é elevado pelas capitais dos estados da região. Isto porque, supondo 4 moradores em cada habitação e preparando equipamentos básicos (Tabela 1) haveria um consumo total de 1,12 kWh por habitante da vila por mês.

**Tabela 1.** Modelo de consumo energético: conjunto de equipamentos para uma residência típica.

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

Fonte: Elaboração própria.

Assim, através do tempo de utilização, apresentado na Tabela 2, imaginando uma rotina na residência, compreendeu-se o consumo de energia elétrica que pode ser replicado para as 150 casas disponíveis na localidade.

**Tabela 2.** Tempo de uso dos equipamentos, relacionando seu consumo de energia elétrica em kWh.

Equipamento	Tempo de Uso (h)	Consumo (kWh)
Liquidificador	0,1000	0,0013
Geladeira	8,0000	0,0833
Ventilador	2,0000	0,0067
Lâmpadas	2,0000	0,0008
Tomadas	0,5000	0,0017
Chuveiro	0,0000	0,0000
Total	13,5000	0,0938

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que no caso da Tabela 2, o chuveiro não apresenta consumo de energia, considerando outra fonte de aquecimento de água instalada, além disso, sobre as tomadas, considerou-se a utilização de um equipamento qualquer de baixa potência em cada uma delas.

Proposto o padrão de consumo e realizando uma distribuição homogênea de carga requerida por hora,

pode-se abranger todas as casas da vila simultaneamente, garantindo a determinação do consumo local mensal (0,6733 MWh, com variabilidade de 5%), que seria o primeiro parâmetro requerido para o funcionamento do software.

Na sequência, todos os parâmetros climáticos do local foram obtidos através da base de dados da NASA [7], desta maneira, a irradiação diária média para superfícies horizontais foi de 4,67 kWh/m<sup>2</sup> e a velocidade média anual do vento a 50m, 1,8 m/s.

Definiu-se então 3 cenários possíveis para um sistema híbrido na Vila Céu do Mapiá:

- 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.

Todos os cenários consideraram as mesmas placas fotovoltaicas, como na Tabela 3.

**Tabela 3.** Modelos de placas fotovoltaicas utilizados.

Modelo	Potência (kWp)	Custo (k€)	Custo O&M (€/ano)
PV10	10	10	40
CPV10	10	12	40
PV100	100	100	40
PV10BIF	10	11	40

Fonte: Elaboração própria.

Também são comuns as turbinas eólicas utilizadas como na Tabela 4 e os geradores da Tabela 5.

**Tabela 5.** Modelos de geradores considerados em todos os cenários.

Modelo	Custo (k€)	Custo O&M (€/h)
Diesel 10kW	10	0,2
Diesel 50kW	12	0,4
Diesel 100kW	100	0,8

Fonte: Elaboração própria.

Particularmente para os cenários que utilizam baterias (C1 e C3) tem-se o conjunto de modelos de baterias utilizados na Tabela 6. Os inversores utilizados em C1 e C3 vão de encontro à Tabela 7.

**Tabela 7.** Inversores utilizados para C1 e C3.

Modelo	Custo (k€)	Potência (kVA)
Inv-Ch5kW	1,5	5
Inv-Ch100kW	20	100
Inv-Ch200kW	35	200

**Tabela 4.** Modelos de turbinas eólicas comuns a todos os cenários.

Modelo	Custo (k€)	Emissão de CO <sub>2</sub> (t)
Hummer: HWP-50	59	29
Bornay: 6000	12,1	3,5
Vesta V82	1500	300
Hummer: HWP-10	14	4

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 6.** Modelos de baterias utilizados em C1 e C3.

Modelo	Custo (k€)	Capacidade (kAh)
Bat240kWh	35	5
Bat480kWh	70	10
Bat4800kWh	6000	100

Fonte: Elaboração própria.

Fonte: Elaboração própria.

Para o cenário C2 foram utilizados eletrolisadores de 5kW e 10kW com custo anual em euros de 2500 e 5000, respectivamente, sendo que as células de combustível tem potência equivalente aos eletrolisadores com custo de aquisição de 2 k€ e 40k€. Entre outros parâmetros tem-se a vida útil das placas fotovoltaicas que seria de 25 anos com emissão de 800kgCO<sub>2</sub>/kWp. Não haveria inclinação para as placas solares, sendo ainda, a reflectância do solo fixado em 0,2 e a eficiência considerando a degradação dos painéis equivalente a 95%. Já para as turbinas eólicas, o fator de *Weibull* equivale-se a 2, assim como a classe de rugosidade da superfície. Em seguida, sobre as baterias associa-se uma emissão de dióxido de carbono equivalente a 55 kg/kWh. Associados a todos os inversores está a vida útil de 15 anos, todavia, para os geradores são 20000h. O custo do diesel foi considerado 1,3€/L com taxa de inflação de 5%, sendo, a emissão por litro de diesel de 3,5 kg de dióxido de carbono.

Por último, a operação com o gerador emite 215 kg de dióxido de carbono para cada kVA e, além disso, os valores dos parâmetros socioeconômicos foram mantidos padrão por não serem foco do estudo realizado.

### 3. Resultados e discussão

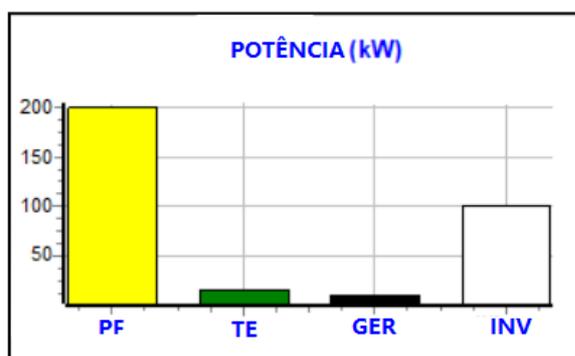
O Valor Presente Líquido (VPL) foi a referência para realizar a avaliação dos cenários, sendo que para o C1, a priori, definiu-se os elementos da Tabela 8 para compor o sistema híbrido na vila.

**Tabela 8.** Componentes ótimos encontrados em C1.

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: Elaboração própria.

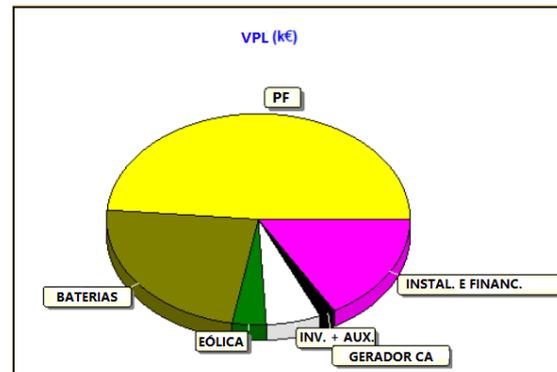
Além disso, verifica-se através da Figura 1, que a maior parcela de toda a potência fornecida pelo sistema seria obtida a partir das placas fotovoltaicas, sendo que a associação do inversor e bateria geraria mais metade dessa potência. Pode-se observar também que a contribuição do gerador e turbina eólica para a rede possui menor significância, visto que devido às condições locais, o gerador trabalharia somente em emergências, pois as placas fotovoltaicas seriam capazes de abastecer a vila e carregar as baterias e os ventos seriam de baixa velocidade, impossibilitando uma geração eólica adequada a demanda.



**Figura 2.** Distribuição da potência dos equipamentos ótimos dados pela simulação C1. Fonte: iHOGA.

Outro fator determinante para o estabelecimento da rede simulada seria o custo, sendo assim, como é apresentado na Figura 2, devido à alta potência

concentrada nas placas fotovoltaicas, tem-se um alto custo associado em relação aos outros componentes. Além disso, o custo de instalação dos equipamentos também é considerado, isto pois, representa uma parcela significativa do valor do projeto.



**Figura 3.** Distribuição dos custos associados à instalação ótima da C1. Fonte: iHOGA.

É possível notar que cerca de metade do custo do sistema simulado estaria concentrado nas placas fotovoltaicas. Isso se dá, pois, o maior potencial renovável da Vila Céu do Mapiá é o solar, logo o foco do sistema volta-se para tal fonte de energia. Ademais, as baterias representam um quarto do custo total, principalmente devido ao preço de aquisição e nisto encontramos a necessidade de alternar o armazenamento em bateria com outras formas de estocar energia. A partir da C1 verificou-se também que o investimento inicial necessário ao desenvolvimento do sistema híbrido de energias renováveis estaria em torno de 390.000 euros e haveria uma emissão de dióxido de carbono associada de 9 t/ano, considerando que não seria necessário operar com o gerador em nenhum momento. Em sequência, considerando C2, haveria uma mudança nos equipamentos ótimos em relação a C1, como os apresentados na Tabela 9, verificando-se que nesse caso o gerador assume um papel de maior importância para atingir a demanda da vila.

**Tabela 9.** Componentes ótimos encontrados em C2.

Equipamento	Tipo	Quant.
Placas Fotovoltaicas	100kWp	1
Turbinas Eólicas	6,3kW 14m/s	1
Geradores Diesel	50kVA	1
Eletrolisador	5MW	1
Célula de Combustível	10MW	1

Fonte: elaboração própria.

O novo conjunto de equipamentos impacta diretamente na distribuição de potência do sistema, visto que, como na Figura 3, a redução de uma placa solar, o aumento do potência do gerador e a inserção da célula de combustível e eletrolisador como configuração ótima distância o sistema híbrido das fontes renováveis e aumenta a importância da utilização de combustíveis fósseis para garantir a autonomia da Vila Céu do Mapiá.

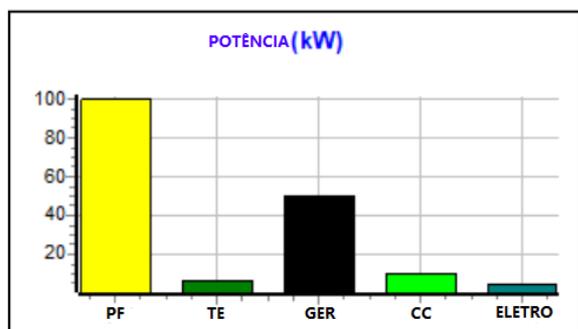


Figura 4. Distribuição da potência dos equipamentos ótimos dados pela simulação C2. Fonte: iHOGA.

A necessidade da utilização do gerador, devido à dificuldade de armazenamento de energia modifica a matriz dos custos associados ao desenvolvimento do sistema, como visto na Figura 4, inserindo o valor de compra do combustível como principal elemento de encarecimento do projeto.

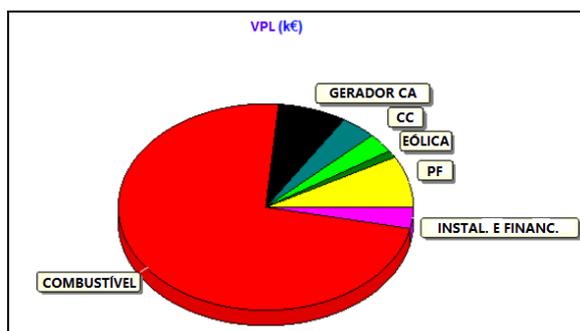


Figura 5. Distribuição dos custos associados à instalação ótima do CO2. Fonte: iHOGA.

A mudança nos valores apresentada se dá pela ausência das baterias, que armazenam o saldo positivo de energia renovável diária. Assim, requer-se maior utilização do gerador para suprir a demanda e por consequência, maior consumo de combustível.

De encontro também à mudança nos mecanismos de armazenamento e maior utilização de combustíveis fósseis, tem-se uma projeção de investimento inicial de cerca de 233.875 euros com uma emissão associada de dióxido de carbono de 187,47 t/ano. Por último, analisa-se C3, na qual ocorreu uma mescla entre os equipamentos de C1 e C2, como está apresentado na Tabela 10, todavia, a não alteração do

modelo ideal das baterias já seria um indicativo do baixo impacto da inserção da célula e do eletrolisador.

Tabela 10. Componentes ótimos encontrados em C3.

Equipamento	Tipo	Quantidade
Placas Fotovoltaicas	100kWp	2
Turbinas Eólicas	6,3kW para 14m/s	1
Geradores Diesel	10kVA	1
Inversores	100kVA	1
Baterias	480kWh	1
Célula Comb.	5MW	1
Eletrolisador	5MW	1

Fonte: elaboração própria.

Nesse caso, verifica-se que a redução da potência da turbina eólica se mantém, entretanto, outros elementos como as baterias para armazenamento e as placas fotovoltaicas que provocam maior impacto no sistema híbrido permanecem as mesmas, logo, a influência dos componentes que utilizam H2 de C2 são baixas.

Outro aspecto a se observar seria o VPL de C3, uma vez que, a inserção da célula e eletrolisador, como na Figura 5, provoca um aumento na proporção dos custos de instalação e tornam ainda menos significativas a presença do gerador e da turbina eólica no sistema simulado.

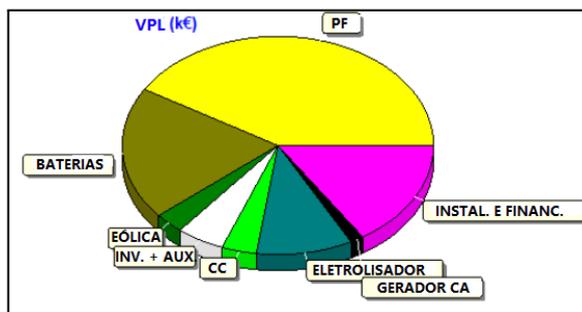


Figura 6. Distribuição dos custos associados à instalação ótima da C3. Fonte: iHOGA.

Por consequência das alterações provocadas pelos equipamentos que operam com H2, tem-se a necessidade de um investimento inicial de cerca de 437.625 euros com uma irrisória alteração nas emissões de CO<sub>2</sub> em relação a C1, cerca de 9,03 t/ano.

Deve-se notar também que para ambos os cenários, atribui-se um custo para a energia, relacionando o custo do sistema com sua capacidade de produção anual. Nesse caso, o preço de cada kWh está discriminado na Tabela 11, a título de comparação, sendo que, este valor seria outro fator determinante no momento de escolha da implementação de um sistema híbrido renovável.

**Tabela 11.** Custo de 1 kWh para cada cenário.

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

Fonte: elaboração própria.

Além disso, é possível notar que o custo da energia aumenta de C1 para C3, devido ao alto custo do conjunto eletrolisador e da célula de combustível, sendo que, em relação a C2, o elevado valor determinado pela modelagem diz respeito ao preço do combustível para abastecer os geradores que possuem maior atividade do que o mesmo equipamento em C1 e C3.

#### 4. Conclusões

Com os cenários apresentados, é possível analisar que obtiveram um melhor resultado aqueles que valorizaram as placas fotovoltaicas. Os resultados obtidos com a energia eólica e os geradores foram relativamente baixos quando comparados aos painéis solares.

O sistema de armazenamento por baterias se destaca tanto por sua elevada potência, quanto por seu custo, sendo assim, apesar de sua utilização ser a mais fácil em relação às células de combustível, ainda sim outras formas de resguardo energético para suprir as intermitências das fontes geradores deveriam ser considerados para garantir o maior custo benefício do projeto.

Como o local de instalação é isolado e é composto por uma população considerada de baixa renda, haveria dificuldade no transporte de equipamentos para o desenvolvimento da rede híbrida, portanto, a instalação e o financiamento teriam um impacto elevado nos custos, em comparação a outros elementos.

Além disso, voltando-se para o cenário 2 (C2), verifica-se que devido a limitações das ferramentas utilizadas, somente uma célula de combustível pôde

ser operada em simultâneo aos outros elementos do sistema, todavia, a utilização de mais células inviabilizaria o projeto devido ao alto custo de aquisição desse tipo de equipamento.

Compreende-se também que em uma situação na qual utilizou-se um sistema de armazenamento inadequado, como em C2, ocorreria o custo associado ao consumo de combustível se destacar em relação a todos os outros equipamentos e investimentos do projeto, além da elevação das emissões de dióxido de carbono. Assim, pode-se verificar a importância de compreender a região e destinar estudos a bancos de energia capazes de suprir a demanda da Vila Céu do Mapiá.

Desta forma, devido à região atualmente não ter acesso contínuo de energia elétrica, compreende-se que seria adequada a implantação de um sistema híbrido renovável de geração de energia no local e com base nos cenários propostos, C1 seria o mais adequado, todavia, a utilização de tecnologias mais recentes de armazenamento tornaram o projeto mais atraente, assim como a utilização de geradores que utilizassem combustíveis renováveis na sua alimentação.

#### 5. Agradecimentos

A equipe de pesquisa agradece ao professor Rodolfo Dufo López, pesquisador principal do *software* iHOGA por todo o suporte técnico; 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; ao PPGEEN (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia) e à Universidade Federal de Itajubá.

#### 6. Referências

- [1] Castro, M. T. et al. “Techno-economic and financial analyses of hybrid renewable energy system microgrids in 634 Philippine off-grid islands: Policy implications on public subsidies and private investments”. *Energy*, p. 124599, 29 jun. 2022.
- [2] Jahangir, M. H. et al. “Reducing carbon emissions of industrial large livestock farms using hybrid renewable energy systems”. *Renewable Energy*, mar. 2022.
- [3] EPE. “Sistemas Isolados”. Publicações. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/sistemas-isolados>.

[4] Associação dos Moradores da Vila Céu do Mapiá. “Comunidade: Sobre a Vila Céu do Mapiá”. Disponível em: <http://vilaceudomapia.org.br/comunidade>.

[5] Software iHOGA. Software de simulación y optimización de suministro eléctrico basado en energías renovables. Versão PRO+ 3.2. Espanha. Universidad Zaragoza. Disponível em: <https://ihoga.unizar.es>.

[6] POWER Data Access Viewer. Versão 2.0.0. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

[7] NASA - National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <http://www.nasa.gov/>.

[8] EPE. “Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022”. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>.

[9] Google. 2022. Vila Céu do Mapiá. [s.l.]: Google Maps. Disponível em: <https://https://goo.gl/maps/pNfUbPz4f2V55UvD6>.