

## **Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica a partir da Inserção de Geração Distribuída na Rede Elétrica**

ZAUZA, Silvana<sup>1\*</sup>; DALLEPIANE, Patrícia Gomes<sup>2</sup>; RODRIGUES, Mauro Fonseca<sup>3</sup>;  
DANIELSSON, Gabriel Henrique<sup>4</sup> CANHA, Luciane Neves<sup>5</sup>

<sup>1</sup> UFSM, Curso Pós Graduação de Engenharia Elétrica (PPGEE), Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria, Avenida Roraima, 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>2</sup> UFSM, Curso Pós Graduação de Engenharia Elétrica (PPGEE), Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria, Avenida Roraima, 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>3</sup> FAHOR, Curso de Engenharia de Controle e Automação, Faculdade de Horizontina, Av. dos Ipês, 565, Eldorado, Horizontina-RS, Brasil.

<sup>4</sup> UNIJUÍ, Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Campus Santa Rosa, Rodovia RS 344, KM 39, Nº 1100, Bairro Timbaúva, Santa Rosa, RS, Brasil.

<sup>5</sup> UFSM, Curso Pós Graduação de Engenharia Elétrica (PPGEE), Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria, Avenida Roraima, 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil.

\*Autor Correspondente: [silvana.zauza@gmail.com](mailto:silvana.zauza@gmail.com)

### **RESUMO**

Atualmente a energia elétrica possui uma influência direta no desenvolvimento social e econômico da sociedade de modo geral, com isso, ocorre um significativo aumento do consumo e contribui diretamente na crescente demanda de energia elétrica. Mediante a este contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma análise da viabilidade técnica e financeira da implantação de Geração Distribuída a partir de fontes renováveis, considerando os custos de implementação em um sistema híbrido conectado à rede elétrica, para o atendimento de um perfil de carga residencial, no município de Ijuí, estado do Rio Grande do Sul. A modelagem desenvolvida busca apresentar um comparativo econômico

entre as combinações tecnicamente viáveis, indicando a configuração de fontes e tarifa que melhor representa o atendimento dos requisitos técnicos e econômico. Para tal, se utilizara o software HOMER como ferramenta de auxílio no processo de tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Geração Distribuída, Planejamento Energético, Software HOMER, Sistemas Elétricos Híbridos.

## **Study of the Technical and Economic Feasibility from the Insertion of Distributed Generation in the Electricity Grid**

### **ABSTRACT**

Currently, electricity has a direct influence on the social and economic development of society in general. Therefore, there is a significant increase in consumption and it contributes directly to the growing demand for electricity. Through this context, this work aims to develop an analysis of the technical and financial feasibility of implementing Distributed Generation from renewable sources, considering the costs of implementation in a hybrid system connected to the power grid, to meet a residential load profile, in the municipality of Ijuí, state of Rio Grande do Sul. The modeling developed seeks to present an economic comparison between the technically feasible combinations, indicating the configuration of sources and tariff that best represents the fulfillment of technical and economic requirements. To this end, HOMER software was used as an aid in the decision making process.

**Keywords:** Distributed Generation, Energy Planning, HOMER Software, Hybrid Electric Systems.

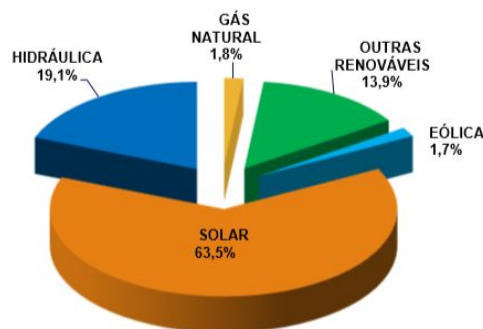
### **1 INTRODUÇÃO**

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) brasileiro é composto na sua maioria por sistemas de geração centralizados, sendo que a energia gerada é transmitida por longas linhas de transmissão até os centros de cargas e após a tensão ser rebaixada para média e baixa tensão é distribuída aos consumidores finais. Essa topologia se manteve por um longo período, porém ao longo dos anos vieram ocorrendo atualizações e modernização no SEP através da inserção de novas tecnologias (KAGAN; OLIVEIRA; ROBBIA, 2010).

Conforme exposto por Lima et al. (2018), com as alterações que ocorreram na legislação, conseqüentemente houve melhorias, facilitando o crescimento da inserção de Geração Distribuída (GD). Assim o sistema elétrico de grandes gerações centralizadas começa a dividir espaço com a geração de pequenas sistemas de GD, que vem provocando um crescimento exponencial nos últimos anos.

Na Figura 1 é possível observar a participação de cada fonte na geração distribuída no ano de 2018. Onde pode-se destacar a crescente significativa das fontes renováveis por GD, chegando 131% de crescimento se comparado ao ano de 2017 (EPE, 2019).

Figura 1- Participação da Micro e Mini Geração Distribuída no Brasil



Fonte: EPE, 2019

Segundo Azzolin (2015) com o desenvolvimento de novas tecnologias de produção de energia em pequena escala, a injeção de potência através de GD contribui positivamente para o suprimento energético, se posicionando favoravelmente aos grandes empreendimentos centralizados, e com isso diversifica a matriz energética.

Desta forma, pretende-se realizar o estudo de viabilidade técnica e econômica considerando os custos de implementação de diversas fontes em um sistema híbrido conectado à rede, para atendimento de uma carga residencial situada no município de Ijuí - RS. Inicialmente serão definidas quais as fontes de energia utilizadas, assim como a potência de cada uma das GD(s), sendo considerada a geração complementar como suprimento via rede de distribuição local e posteriormente será realizado um comparativo na aplicação da tarifa convencional e branca, permitindo assim identificar a melhor opção econômica do sistema em estudo.

## 2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

## 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1.1 Fontes de Geração Distribuída

A GD caracteriza-se pela forma de geração de energia elétrica, que em geral é de pequeno porte e conectada ao sistema de distribuição. Sua principal característica é proximidade ao cliente consumidor e em geral causa impacto apenas no sistema de distribuição local, o que pode levar à redução dos custos totais de investimentos em geração, devido a diminuição dos investimentos em transmissão e distribuição (REIS, 2013).

Com o intuito de incentivar a inserção de GD, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2012 regulamentou a Resolução Normativa (RN) nº 482, e em 2015, realizou alterações referente a norma vigente, criando a Resolução Normativa Nº 687. Que estabelece condições para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Conforme disposto por Zauza (2018), ocorreram melhorias nas condições de GD, isso se deve à melhor distribuição de prazos, valores e regras para a conexão dos geradores. Assim, houve aperfeiçoamento do sistema de compensação de energia elétrica. Este por sua vez, permite que a energia ativa injetada pela unidade consumidora seja cedida por meio de empréstimo gratuito para a distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa.

Contudo é importante ressaltar que o consumidor que gera sua própria energia continua pagando uma taxa mínima referente à taxa de disponibilidade da rede elétrica, e esta taxa varia conforme o tipo de ligação, monofásica, bifásica ou trifásica, assim as distribuidoras recebem por disponibilizar a rede elétrica (ZAUZA, 2018).

### 2.2.1 Sistema Fotovoltaico (SFV)

Um dos primeiros aproveitamentos de energia solar é o aquecimento de água por energia solar, que é utilizado até os dias atuais. A evolução da tecnologia partiu do uso de junções com semicondutores, até chegar nos modelos atuais de células fotovoltaicas utilizadas e comercializadas atualmente, para geração de energia elétrica a partir da radiação solar (VALLERA; BRITO, 2006).

Vallera e Brito (2006) comentam que, um SFV é composto por: um gerador; um bloco condicionador da potência e; um bloco armazenador, que é opcional. Os elementos necessários para a instalação de um SFV dependem da configuração do sistema e da aplicabilidade que se deseja ter. Para SFVs conectados à rede elétrica os principais

componentes são: os módulos ou painéis fotovoltaicos; os condutores; os inversores e os dispositivos de proteção, seccionamento e medição.

### **2.1.3 Sistema eólico**

Segundo Reis (2013), é de extrema importância ter conhecimento da velocidade média dos ventos para ter uma estimativa da energia gerada. Isso se deve ao fato de que os aerogeradores começam a gerar energia em uma determinada velocidade do vento de partida e param de gerar quando a velocidade ultrapassa um determinado valor estabelecido por questões de segurança, lembrando que existem variações das características dos aerogeradores conforme cada modelo e fabricante e devem ser respeitadas para melhor aproveitamento e segurança do sistema.

A variação da distribuição de potência ocorre de acordo com a intensidade do vento e com o coeficiente de potência. Em períodos em que a velocidade do vento atinge valores inferiores a 03 m/s são definidos como períodos de calmaria, onde as potências se tornam muito baixas podendo parar o sistema de geração. Já em locais que apresentam altas velocidades de vento por longos períodos podem causar problemas estruturais nas instalações eólicas ou nas turbinas, por isso é de extrema importância realizar estudos aprofundados nas possíveis regiões de instalação de aerogeradores (ZAUZA, 2018 apud FARRET, 2014).

### **2.1.5 Tarifa convencional**

Existem diversas modalidades tarifárias, elas são divididas por grupos de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativa. As modalidades são definidas conforme o grupo tarifário, e definidas segundo as opções de contratação na Resolução Normativa 414/2010, assim como no módulo 07 dos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET). Os grupos de modalidades tarifárias se dividem em grupo A, grupo B e demais acessantes. Os grupos principais se dividem em subgrupos que variam conforme níveis de tensão, consumo de energia e demanda de potência (ANEEL, 2020).

Para consumidores do grupo B, que são unidades consumidoras de baixa tensão de classes residencial existem duas aplicações tarifárias: tarifa convencional monômnia: é a aplicação de uma tarifa única de consumo de energia elétrica, independente das horas de uso de energia do dia e a tarifa horária branca: é uma tarifa diferenciada de consumo de energia elétrica, ela varia de acordo com os horários de utilização do dia, dias de semana e finais de semana. Porém não está disponível para os subgrupos B4 e para a subclasse baixa renda do subgrupo B1 (ANEEL, 2020).

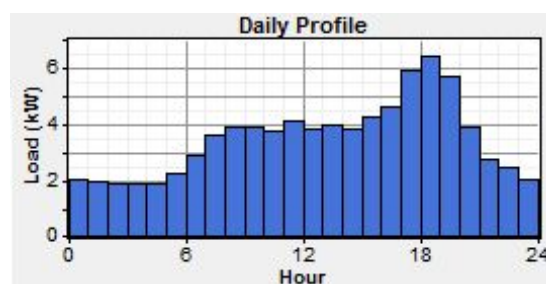
## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A proposta do estudo de caso é desenvolver uma análise da viabilidade técnica e financeira da implantação de GD a partir de fontes renováveis, considerando os custos de implementação em um sistema híbrido conectado à rede elétrica. Para desenvolver a modelagem e simulação das fontes de GD utilizou-se o software HOMER. O software HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) foi elaborado pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), que consiste em um modelo computacional desenvolvido para auxiliar na análise de sistemas de geração e na comparação de tecnologias de produção de energia, avaliando o seu comportamento físico e econômico (SILVA et al. 2018).

### 2.2.2 Modelagem da Carga

Para modelagem do sistema elétrico no HOMER são necessárias variáveis de entrada para cada uma das tecnologias consideradas. Para iniciar a modelagem, é necessário o conhecimento da curva de carga, que é baseado no levantamento da demanda em uma dada instalação, de modo a caracterizar o consumidor para que se possa melhor atendê-lo. Na Figura 2 demonstra-se a curva de carga considerada para o sistema em estudo, onde apresenta a demanda, que consiste em 84 kWh/dia e um pico de 12 kW.

Figura 2 - Comportamento da Curva de Carga.



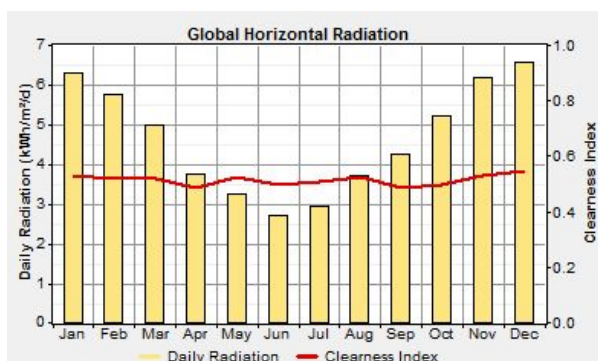
Fonte: Autoria Própria

Para realizar o desenvolvimento da análise de viabilidade técnica e financeira serão analisados os recursos energéticos das fontes de energia eólica e solar, assim como banco de baterias para armazenamento de energia. Assim como, a definição das unidades geradoras e especificações dos custos, para avaliar o investimento e operação de cada unidade geradora, bem como sua capacidade de geração e disponibilidade no mercado.

### 2.2.3 Painéis Fotovoltaicos

Para o projeto de painéis fotovoltaicos é necessário determinar a radiação solar mensal ao longo de um ano. Com isso, foi realizado o estudo para o município de Ijuí - RS, que possui a latitude de  $28^{\circ} 23' 16''$  S e longitude  $53^{\circ} 54' 53''$  W. Os dados da radiação solar média mensal ao longo do ano resultante para a região delimitada estão ilustrados na Figura 3, conforme dados do site Weather Spark.

Figura 3 - Perfil de radiação mensal ao longo do ano.

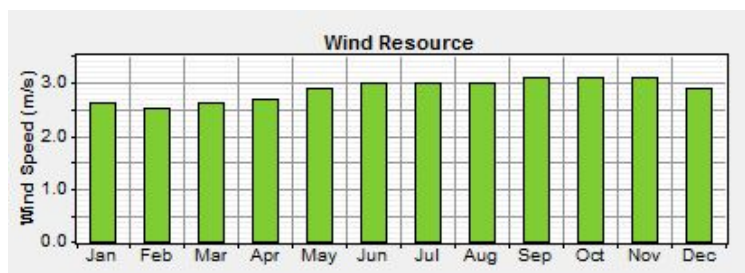


Fonte: Autoria Própria

### 2.2.4 Turbinas Eólicas

E para a modelagem das turbinas eólicas foi necessário avaliar as características dos geradores eólicos, assim como, obter os dados da velocidade média mensal dos ventos ao longo do ano. Na Figura 4 pode-se observar os valores da velocidade média dos ventos na região avaliada. A origem desses valores deu-se através de uma medição a 10m de altura do solo (SILVA, 2018).

Figura 4 - Velocidade média do vento.



Fonte: Autoria Própria

### 2.2.5 Dados Técnicos

Com a definição dos parâmetros de cada equipamento, assim como seus recursos primários de energia, o software apresenta um módulo de custos para cada fonte de geração.

A Tabela 2 mostra os custos para cada potência dimensionada, assim como a vida útil dos equipamentos.

Tabela 2 - Dados técnicos dos Equipamentos

Fonte	Potência (kW)	Vida útil	Capital (US\$)	Substituição (US\$)	Operação (US\$/ano)
Solar	0.246	25	700	700	7
Eólica	1	20	10000	10000	300
Baterias	2,4 kW/h	10	1800	1800	50
Conversor	3	20	4500	4500	0
	15	20	16500	16500	0

Fonte: Autoria Própria

Para compor um sistema de geração a partir de fontes renováveis é importante prever baterias para possibilidade de armazenamento de energia. Foi escolhida a bateria *Vision Battery* – 6FM200D, em razão da sua capacidade nominal de 200Ah (2,4kWh) e tensão de 12V. Como é considerada uma carga alimentada em tensão alternada, deve-se contar com a instalação de um conversor para transformar a tensão contínua nessa tensão alternada. Para isso é denominada um conversor de 3 kW e 15 kW, que apresenta uma vida útil de 20 anos e tem a eficiência estimada de 95%.

Para a simulação do sistema eólico foi considerado o aerogerador do fabricante *Southwest Windpower*, do modelo *SW Whisper 200*, com uma potência de 1kW DC, com a altura da torre de 15,2m, por possuir o melhor desempenho devido às características de velocidades dos ventos estimadas na região. E para o sistema solar foi escolhido o painel fotovoltaico da *Canadian Solar* - CS6U.

Quanto ao custo da tarifa convencional e tarifa branca de eletricidade utilizada nas simulações, adotou-se os valores representados na Figura 06, mais encargos apresentados na fatura de energia, no qual é o valor cobrado para a classe residencial, pela distribuidora DEMEI – Departamento Municipal de Energia Elétrica de Ijuí (DEMEI, 2020)

Figura 6 - Tarifa de Energia DEMEI.





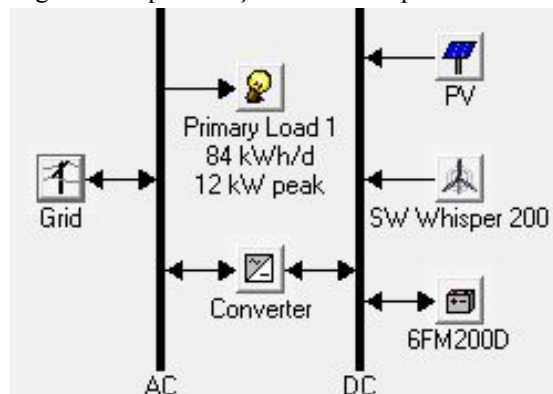
Fonte: (DEMEI, 2020)

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da curva de carga analisada definiu-se dois casos para simulações, com o intuito de analisar a melhor solução técnica e financeira com fontes de GD para cada situação. Para a realização das simulações utilizou-se um tempo de projeto de 25 anos.

O sistema analisado é composto de: Painéis fotovoltaicos; turbinas eólicas; banco de baterias e inversores. A Figura 7 ilustra a estrutura do sistema utilizado nas simulações para a análise dos resultados.

Figura 7 -Representação do sistema para o Caso 01.



Fonte: Autoria Própria

Foram realizadas as simulações considerando as tarifas, convencional e branca.

### 2.3.1 Caso 01 – Tarifa Convencional

Para a simulação com a tarifa convencional e nas restrições dimensionadas em cada fonte, o software realiza a otimização considerando diversas combinações de forma a obter a alternativa com menor custo. Na Figura 8 observa-se os resultados obtidos na simulação.

Figura 8 - Resultados obtidos com aplicação da tarifa convencional.

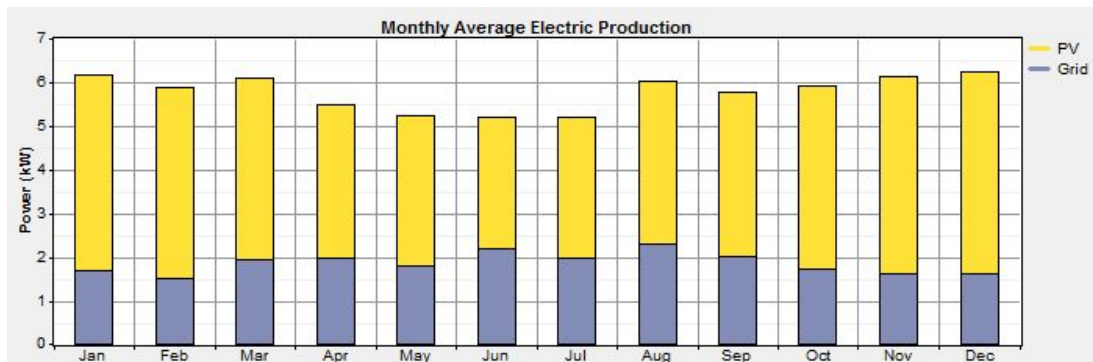
Icons	PV (kW)	W200	6FM200D	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
[Icons]	24...			15	1000	\$ 86,500	2,163	\$ 106,136	0.381	0.68
[Icons]	24...		1	15	1000	\$ 88,300	2,310	\$ 109,269	0.392	0.68
[Icons]	24...	1		15	1000	\$ 96,500	2,407	\$ 118,346	0.425	0.68
[Icons]	24...	1	1	15	1000	\$ 98,300	2,554	\$ 121,479	0.436	0.68

Fonte: Autoria Própria

A melhor solução que atende à demanda com o menor custo, é a composição da rede elétrica com a geração de painéis fotovoltaicos.

A Figura 9 representa a produção média mensal de energia elétrica durante o ano para a melhor solução obtida. Demonstrando o comportamento da geração através de painéis fotovoltaicos e a energia da rede elétrica, considerando a tarifa convencional.

Figura 9 - Produção média de energia durante o ano para tarifa convencional.



Fonte: Autoria Própria

Observa-se que os meses que houve uma maior utilização da rede de energia elétrica foram os meses de junho a agosto, em razão da radiação solar ser menor nestes meses.

### 2.3.2 Caso 02 - Tarifa Branca

Para a simulação com a tarifa branca, considerou-se a mesma configuração do sistema híbrido e as mesmas restrições dimensionadas em cada fonte. A Figura 10 mostra os novos resultados obtidos pela simulação no Homer.

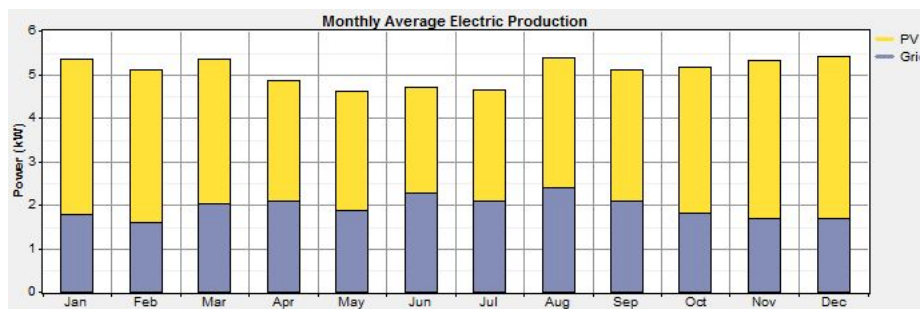
Figura 10 - Resultados obtidos com aplicação da tarifa branca.

	PV (kW)	W200	6FM200D	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	19...			15	1000	\$ 72,500	8,281	\$ 147,668	0.530	0.62
	19...		1	15	1000	\$ 74,300	8,428	\$ 150,801	0.541	0.62
	19...	1		15	1000	\$ 82,500	8,475	\$ 159,430	0.572	0.62
	19...	1	1	15	1000	\$ 84,300	8,622	\$ 162,562	0.583	0.62

Fonte: Autoria Própria

Através da simulação com a tarifa branca, a melhor solução que atende à demanda com o menor custo, também é proveniente da composição da rede elétrica com a geração de painéis fotovoltaicos. Assim, na Figura 11 representa os novos resultados obtidos na produção média mensal de energia elétrica durante o ano.

Figura 11 - Produção média de energia durante o ano para tarifa branca.



Fonte: Autoria Própria

Ao realizar um comparativo entre os casos analisados foi considerada como a melhor solução indicada pelo software Homer, a que atende à demanda analisada com o menor custo de investimento ao sistema. Nota-se que a tarifa convencional possui um menor valor de investimento para aplicação e uma maior geração média de energia durante ao ano, se comparada com os resultados da simulação da tarifa branca.

## CONCLUSÃO

Foi realizado neste trabalho uma análise técnica e econômica, considerando uma conexão híbrida de fontes de GD conectadas com a rede elétrica, onde foi possível realizar a otimização do sistema analisado comparando as tarifas, tornando possível a tomada de decisão do melhor modelo energético, econômico e financeiro dos casos analisados.

Na primeira análise, foi levado em consideração a tarifa convencional, que trouxe como melhor configuração do sistema híbrido a utilização da rede de energia com o sistema solar fotovoltaico e obteve-se como resultado do valor presente líquido \$106.136. Já no caso 02 foi utilizada a tarifa branca, e apresentou como melhor configuração a utilização da rede elétrica com o sistema solar fotovoltaico e obteve como resultado do valor presente líquido \$147.668

Com tudo, conclui-se que a melhor opção econômica apresentada foi a utilização de uma GD com painéis solares, para suprir parcialmente a carga da unidade consumidora. A partir das restrições e características definidas, o sistema estimou como melhor resultado o valor de \$106.136. Com isso, o sistema de GD supre 68% da carga estimada para atender a demanda, sendo o restante no valor de 32% atendido pela rede elétrica. Dessa forma, a tarifa convencional destacou-se quando comparada a tarifa branca e ao relacionar os investimentos finais.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa Nº 687 – Alteração da Regulamentação da Geração Distribuída**. Brasília, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Modalidades tarifárias**. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset\\_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800](https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800)>. Acesso em: 04 de mar de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Tarifa Branca**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>> Acesso em: 05 de mar de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 3ª Edição**. Brasília, 2008.

AZZOLIN, H. N. **Mapeamento e Priorização de Fontes de Geração Distribuída como suporte ao Novo Planejamento da Distribuição**. Dissertação para Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE **Balanco Energético Nacional, 2019**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relatório%20Síntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>>. Acesso em: 05 mar de 2020.

KAGAN, N., OLIVEIRA, C. B., ROBBA E. J. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 2010.

LIMA, D. A. C., et al. **Estudo da Viabilidade Técnico-Econômica da Integração de Fontes Renováveis ao Modelo IEEE 14 Barras**. XXIV Jornada de Pesquisa. Salão do Conhecimento – UNIJUÍ. Ijuí, 2019.

REIS, L. B. **Geração de Energia elétrica**. Barrueri: Manole, 2013.

SILVA, E. R. et al. **HOMER: Sistema de Geração Distribuída e Energias Híbridas Renováveis**. Minicurso. Universidadesilv Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2018.

VALLÊRA, A. M., BRITO, M.C. **Meio século de história fotovoltaica**. Gazeta da Física, pp. 10-15, 2006.

ZAUZA, S. **Estudo para Encontrar Ponto de Equilíbrio Econômico na Implantação de Geração de Energia Elétrica com Fontes Renováveis na Área Rural**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2018.

WEATHER SPARK -**Condições meteorológicas médias de Ijuí**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29566/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Iju%C3%AD-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 10 de mar de 2020.