

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,**  
**ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA**

**PLANEJAMENTO ENERGÉTICO INTEGRADO DO DISTRITO DE**  
**SÃO BARTOLOMEU-MG**

**NAIARA RIBEIRO ALVES**

**OURO PRETO-MG**

**2022**

**NAIARA RIBEIRO ALVES**

**PLANEJAMENTO ENERGÉTICO INTEGRADO DO DISTRITO DE  
SÃO BARTOLOMEU-MG**

Trabalho final de graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheira de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Nikolaus Pinto de Moura

**OURO PRETO-MG  
2022**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A474p Alves, Naiara Ribeiro.  
Planejamento Energético Integrado do Distrito de São Bartolomeu-MG.  
[manuscrito] / Naiara Ribeiro Alves. - 2022.  
45 f.: il.: color., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Gustavo Nikolaus Pinto de Moura.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola  
de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Planejamento Energético Integrado (PEI). 2. Hybrid Optimization of  
Multiple Energy Resources (HOMER Pro). 3. Geração de energia  
fotovoltaica. 4. São Bartolomeu (Ouro Preto, MG). I. Moura, Gustavo  
Nikolaus Pinto de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Naiara Ribeiro Alves

### PLANEJAMENTO ENERGÉTICO INTEGRADO DO DISTRITO DE SÃO BARTOLOMEU-MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Produção

Aprovada em 20 de junho de 2022

#### Membros da banca

D.Sc. - Gustavo Nikolaus Pinto de Moura - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
D.Sc. - Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino - Universidade Federal de Ouro Preto  
M.Sc. - Fidellis Bitencourt Gonzaga Louzada e Estanislau - Universidade Federal de Ouro Preto

Gustavo Nikolaus Pinto de Moura, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 20/06/2022



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Nikolaus Pinto de Moura, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/06/2022, às 16:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruna de Fatima Pedrosa Guedes Flausino, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/06/2022, às 17:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fidellis Bitencourt Gonzaga Louzada e Estanislau, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/06/2022, às 18:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0347529** e o código CRC **BFFB9B12**.

## RESUMO

O pequeno distrito de São Bartolomeu, o qual pertence ao município de Ouro Preto em Minas Gerais, é regionalmente reconhecido pela sua arquitetura barroca, belezas naturais e doces artesanais. Tais características atraem todos os meses, centenas de turistas, movimentando e fortalecendo a economia local. Diante dessas informações, o presente trabalho propõe a elaboração de um Planejamento Energético Integrado, tanto pelo lado da oferta, quanto pelo lado da demanda, a partir da coleta dos dados referentes aos setores residencial, comercial e público do distrito, a fim de propor alternativas que garantem segurança energética aos moradores locais e turistas. Inicialmente, foram estudados os conceitos de Planejamento Energético, Modelos Energéticos, Geração Distribuída e Energia Solar Fotovoltaica. Assim, foi estabelecido como padrão para este projeto, o modelo *Bottom-Up*. Foram então coletados os dados do consumo atual de energia elétrica do distrito, o qual serviu de base para a construção das curvas de cargas para os oito diferentes cenários propostos. Tais cenários foram modelados por meio do modelo energético Homer Pro, tendo como recursos utilizados a aquisição e instalação de placas fotovoltaicas, aquecedores solar da água e substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED. Os resultados obtidos indicaram que a instalação de painéis fotovoltaicos juntamente com o uso de aquecedores solares da água, aspectos que compõem o cenário 8, apresenta uma redução de 80% se comparado ao VPL atual. Já em relação aos dados de emissão de dióxido carbono (CO<sub>2</sub>), o cenário que apresenta maior impacto positivo também é o Cenário 8, representando redução de 69% nas emissões de CO<sub>2</sub>. A conclusão de melhor viabilidade do cenário a ser aplicado, é sujeita à avaliação da prefeitura e demais associações do distrito.

**Palavras-chave:** Planejamento Energético Integrado, HOMER Pro, Geração Distribuída, Energia Solar Fotovoltaica, São Bartolomeu.

## **ABSTRACT**

The district of São Bartolomeu, which belongs to Ouro Preto in Minas Gerais, is regionally recognized for its baroque architecture, natural beauty, and handcrafted candies. These characteristics attract hundreds of tourists every month, moving and strengthening the local economy. In view of this information, the present work proposes to build an Integrated Energy Planning, both for the supply and the demand side, from the collection of data referring to the residential, commercial and public sectors of the district, in order to propose alternatives that guarantee energy security for local residents and tourists. Initially, the concepts of Energy Planning, Energy Models, Distributed Generation and Photovoltaic Solar Energy were studied. Thus, the Bottom-Up model was established as the standard for this project. The district's current electricity consumption data was then collected, which served as the basis for the construction of the load curves for the eight different proposed scenarios. These scenarios were modeled using the Homer Pro energy model, using as resources the acquisition and installation of photovoltaic panels, solar water heaters and the replacement of incandescent lamps by LED lamps. The results obtained indicated that the installation of photovoltaic panels together with the use of solar water heaters and LED lamps, aspects that compose scenario 8, presents a reduction of 80% if compared to the current NPC. As for the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission data, the scenario that presents the greatest positive impact is also Scenario 8, representing a 69% reduction in CO<sub>2</sub> emissions. The conclusion of the best feasibility of the scenario to be applied, is up to the evaluation of the city hall and other associations of the district.

**Keywords:** Integrated Energy Planning, HOMER Pro, Distributed Generation, Solar Photovoltaic Energy, São Bartolomeu.

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Eficiência típica dos módulos comerciais .....	20
Tabela 2 - Curva de carga do Cenário Referência .....	23
Tabela 3 - Curva de carga de energia do Cenário 3 .....	24
Tabela 4 - Curva de carga de energia do Cenário 5 .....	25
Tabela 5 - Curva de carga de energia do Cenário 7 .....	27
Tabela 6 - Características dos componentes utilizados .....	29
Tabela 7 - Aparelhos utilizados nos setores residencial e comercial .....	30
Tabela 8 - Comparativo Dados Econômicos dos Cenários .....	40
Tabela 9 - Comparativo Dados de Emissão de CO <sub>2</sub> fornecidos pelo HOMER Pro .....	40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tela inicial do modelo energético Homer Pro.....	15
Figura 2 - Esquema com vários componentes de um planejamento energético.....	16
Figura 3 - Curva de carga do Cenário Referência.....	23
Figura 4 - Curva de carga do Cenário 3.....	25
Figura 5 - Curva de carga do Cenário 5.....	26
Figura 6 - Curva de carga do Cenário 7.....	27
Figura 7 - Nível de insolação do distrito.....	28
Figura 8 - Taxas de desconto e inflação, localização e tempo de projeto.....	31
Figura 9 - Configuração dos dados da rede de energia elétrica.....	31
Figura 10 - Configuração da carga de consumo do Cenário Referência.....	32
Figura 11 - Configuração dos dados para a placa fotovoltaica.....	32
Figura 12 - Configuração dos dados para o inversor.....	33
Figura 13 - Dados econômicos Cenários 1 e 2.....	33
Figura 14 - Tempo de payback Cenário 2.....	34
Figura 15 - Emissão de CO <sub>2</sub> Cenário Referência.....	34
Figura 16 - Emissão de CO <sub>2</sub> Cenário 2.....	34
Figura 17 - Dados econômicos Cenários 3 e 4.....	35
Figura 18 - Tempo de payback Cenário 4.....	35
Figura 19 - Emissão de CO <sub>2</sub> Cenário 3.....	36
Figura 20 - Emissão de CO <sub>2</sub> Cenário 4.....	36
Figura 21 - Dados econômicos Cenários 5 e 6.....	37
Figura 22 - Tempo de payback Cenário 6.....	37
Figura 23 - Emissão de CO <sub>2</sub> Cenário 5.....	37
Figura 24 - Emissão de CO <sub>2</sub> Cenário 6.....	38
Figura 25 - Dados econômicos Cenários 7 e 8.....	38
Figura 26 - Tempo de payback Cenário 8.....	38
Figura 27 - Emissão de CO <sub>2</sub> Cenário 7.....	39
Figura 28 - Emissão de CO <sub>2</sub> Cenário 8.....	39

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
KWH	Quilowatt-hora
MDI	Modelo de Decisão de Investimentos
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PEI	Planejamento Energético Integrado
PV	Fotovoltaico
VPL	Valor Presente Líquido

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
1.2. Objetivos .....	11
1.2.1 Objetivo Geral.....	12
1.2.2 Objetivos específicos .....	12
2. METODOLOGIA .....	13
2.1 Modelagem Energética.....	13
2.2 O modelo energético: HOMER Pro .....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1 Planejamento Energético Integrado (PEI) .....	16
3.2 Modelos <i>Bottom-Up</i> , <i>Top-Down</i> e Híbrido .....	17
3.3 Geração Distribuída.....	17
3.4 Energia solar fotovoltaica.....	19
4. CENÁRIOS MODELADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	21
4.1 Cenários.....	21
4.2 Consumo de energia .....	22
4.2.1 Cenário Referência: Diagnóstico atual.....	22
4.2.2 Cenário 3: Uso de lâmpadas LED.....	24
4.2.3 Cenário 5: Uso de aquecedor solar de água.....	25
4.2.4 Cenário 7: Uso de lâmpadas LED e aquecedor solar.....	26
4.3 Premissas .....	28
4.4 Modelagem dos Cenários .....	30
4.3.1 Cenário Referência e Cenário 2.....	33
4.3.2 Cenários 3 e 4.....	35
4.3.3 Cenários 5 e 6.....	36
4.3.4 Cenários 7 e 8.....	38
4.5 Comparativo entre os Cenários .....	40
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÃO FINAIS .....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44

## **1. INTRODUÇÃO**

São Bartolomeu é um distrito da cidade de Ouro Preto, que está situada a 97 km de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais. Ouro Preto foi tombada em 1938 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), além de ser a primeira cidade brasileira a receber o título de Patrimônio Cultural da Humanidade pela Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) em 1980.

Em divisão territorial datada de 2007, o município é constituído por 13 distritos: Ouro Preto, Amarantina, Antônio Pereira, Cachoeira do Campo, Engenheiro Correia, Glaura, Lavras Novas, Miguel Burnier, Rodrigo Silva, Santa Rita do Ouro Preto, Santo Antônio do Leite, Santo Antônio do Salto e São Bartolomeu. Assim permanecendo em divisão territorial datada de 2014 (IBGE, 2022).

O distrito de São Bartolomeu, o objeto deste trabalho, possui cerca de 730 habitantes (IBGE, 2010) sendo um destino muito procurado por turistas em diversas épocas do ano. Localizado a 21 km de Ouro Preto, o distrito é bem simples, possuindo ruas de pedra e construções que datam do século XVIII. Além disso, o distrito é regionalmente reconhecido por seus doces artesanais, sendo registrados como Patrimônio Imaterial de Ouro Preto, desde o ano de 2008 (IPATRIMONIO, 2022).

Por seu encanto e beleza naturais, o lugar chega a receber muitos turistas, além de atender às demandas dos moradores na vida cotidiana. Diante disso, viu-se a possibilidade de realizar um estudo de Planejamento Energético Integrado (PEI) no distrito, o qual é feito tanto pelo lado da oferta, quanto pelo lado da demanda, a fim de propor Cenários alternativos ao suprimento e ao consumo de energia elétrica no distrito de forma a aumentar a segurança energética e a qualidade do serviço.

No Brasil, tem-se muito incentivo de melhoria a grandes polos urbanos e industriais. No entanto, trazer essa realidade a um pequeno distrito do Estado de Minas Gerais, pode abrir caminhos para a implantação de alternativas com melhor viabilidade técnica, social e econômica em diferentes regiões. A elaboração do PEI será feita por meio do Modelo Energético Homer Pro, o qual está descrito no capítulo 2 deste trabalho.

### **1.2. Objetivos**

Os objetivos do presente trabalho estão descritos a seguir.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Realizar o Planejamento Energético Integrado do Distrito de São Bartolomeu – MG, considerando Cenários alternativos pelo lado da oferta e pelo lado da demanda.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Analisar o consumo de energia elétrica no distrito, considerando as residências, o comércio e o turismo locais.
- Traçar diagnóstico do cenário atual tanto pelo lado da oferta quanto da demanda;
- Estudar fontes alternativas de energia aplicáveis ao distrito;
- Explicar o que é o PEI e como este pode ser favorável à implantação de alternativas sustentáveis;
- Analisar a relevância de instalação de placas fotovoltaicas no consumo de energia do distrito;
- Simular diferentes cenários de PEI para o distrito, por meio do modelo energético HOMER Pro;
- Comparar os resultados obtidos considerando a viabilidade técnico-econômica dos cenários propostos;
- Discorrer sobre o panorama apresentado inicialmente e indicar a solução que melhor atende às necessidades do distrito.

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma pesquisa científica, com abordagem qualitativa pela análise e coleta dos dados utilizados, bem como quantitativa pela análise de aspectos técnicos e econômicos da estrutura tecnológica do sistema energético do distrito de São Bartolomeu em Ouro Preto, Minas Gerais, sendo esta, de natureza aplicada. A pesquisa se baseia em um modelo energético *Bottom-Up*, o qual pode ser resumido como a abordagem de informações individuais dos equipamentos (BLOK E NIEUWLAAR, 2021). Todos os dados apresentados foram coletados por meio de visita *in loco* e questionário aplicados a alguns moradores, inferindo-se que os dados amostrais representam a população total.

O projeto se dá pela construção de um Planejamento Energético Integrado (PEI), o qual consiste na elaboração de cenários a partir dos dados coletados acerca do consumo de energia elétrica de três setores do distrito: o setor residencial, o setor comercial e o setor público. EPE (2005, *apud* GODET, 1993) define cenário como “o conjunto formado pela descrição coerente de uma situação futura e pelo encaminhamento dos acontecimentos que permitem passar da situação de origem à situação futura”. As projeções realizadas têm como finalidade nortear tomadas de decisões, e, neste caso, simular a otimização dos recursos envolvidos nos sistemas energéticos, ainda que haja incerteza em relação aos resultados obtidos.

No capítulo 4 estão descritos os Cenários elaborados para a análise do modelo energético do distrito.

### 2.1 Modelagem Energética

Blok e Nieuwlaar (2021) apresenta o passo a passo para elaborar um modelo genérico de planejamento energético. Em todos os casos, o modelo consiste em uma descrição quantitativa de todas as relações dentro do sistema. Para o presente trabalho foram observadas as seguintes relações dentre as propostas por Blok e Nieuwlaar (2021):

- relações entre o desenvolvimento econômico e a procura de energia;
- impacto da eficiência energética na evolução da procura de energia;
- impacto dos preços da energia na oferta e na procura de energia, e vice-versa;
- relações entre os desenvolvimentos no sistema energético e o desenvolvimento econômico;
- relações entre a utilização de combustíveis e as emissões.

Diante disso, foi feita uma adaptação do passo a passo genérico, de forma que estes passos moldassem a execução do projeto mantendo a análise das relações apresentadas anteriormente. Nos tópicos a seguir estão descritos quatro passos principais utilizados na elaboração do Planejamento Energético Integrado do distrito.

- A. Determinar o consumo total de energia. Neste tópico foram levantadas a quantidade de residências e comércios do distrito, bem como avaliação da conta de energia elétrica do consumo residencial. Tais informações permitem o desenvolvimento das curvas de carga utilizadas na análise energética do objeto de estudo.
- B. Registro de equipamentos. Neste projeto foi considerado as características dos aparelhos usados nos comércios, com todos os dados técnicos e econômicos, considerando que estes aparelhos são comuns a todas as residências. Além disso, também foram levantados o tempo de uso desses aparelhos, fazendo uma correlação entre hábito de uso *versus* eficiência do aparelho.
- C. Registro das características do local. Neste caso, optou-se por utilizar um mesmo modelo de planta para as residências e para os comércios, a fim de padronizar o consumo de energia e os aparelhos utilizados.
- D. Fechamento do balanço energético. Por fim, é feito o balanço energético. Faz-se o comparativo das entradas totais de energia do passo A e os montantes obtidos nos passos B e C. Para este trabalho, os dados levantados foram comparados aos valores obtidos a partir do modelo energético Homer Pro, o qual está descrito no item 2.2 desta seção.

## **2.2 O modelo energético: HOMER Pro**

Para o presente trabalho foi utilizado o modelo energético HOMER Pro, para simulação dos diferentes cenários acerca dos sistemas energéticos para o distrito, o qual é desenvolvido pela empresa HOMER Energy. A sigla HOMER significa Otimização Híbrida de Recursos Energéticos Múltiplos, traduzido do inglês, sendo este um dos motivos que levaram à escolha deste modelo. A abordagem das complexidades de um sistema energético de forma bastante intuitiva, considerando aspectos técnicos e econômicos deste sistema, facilita a análise dos cenários construídos. Além disso, o modelo HOMER Pro tem foco em micro redes autônomas, com ênfase na análise de soluções a baixo custo para sistemas de energia remota e micro redes.

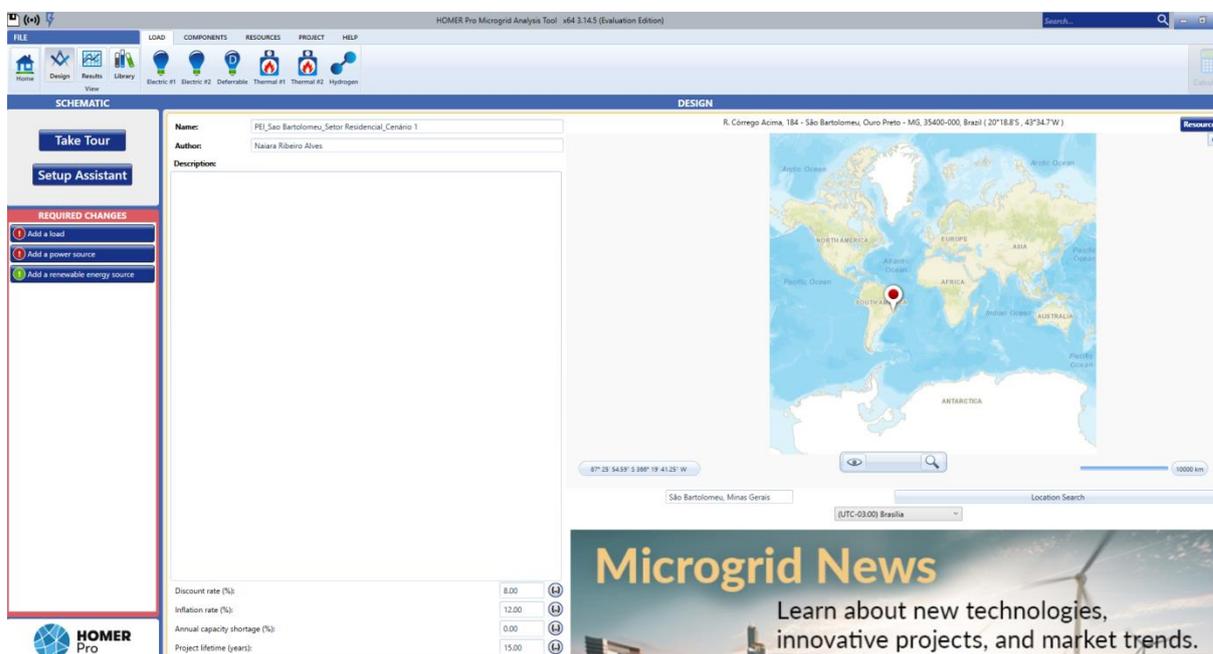
O modelo utilizado neste trabalho conta com a sua versão estudantil, a qual é voltada para pesquisas, aplicações em salas de aula e trabalhos acadêmicos. Para melhor experiência do usuário é ofertada uma licença gratuita de 21 dias para uso do modelo, sendo necessário efetuar

pagamento para uso posterior a esse prazo. Ainda que o valor cobrado seja em dólar (USD), é válido considerar a utilização da versão estudantil por um tempo maior, uma vez que esta versão inclui todos os módulos e os disponibiliza por um preço menor se comparado às versões profissionais.

Para elaboração dos cenários, o modelo requer a inserção de dados iniciais como a taxa de desconto, taxa de inflação, tempo de projeto e localização. Além disso, é possível informar o nome do projeto e a autoria, bem como descrever o projeto. Após essa etapa, são requeridas demais informações acerca do consumo de energia, componentes utilizados, tarifa do consumo de energia elétrica, taxa de emissão de CO<sub>2</sub>, dentre outros dados, tornando o modelo bastante completo. A partir dos dados informados, o modelo calcula as possíveis combinações e retorna valores referentes aos sistemas energéticos envolvidos.

A interface inicial do sistema está descrita na Figura 1.

**Figura 1 - Tela inicial do modelo energético Homer Pro**



Fonte: Homer Pro, 2022.

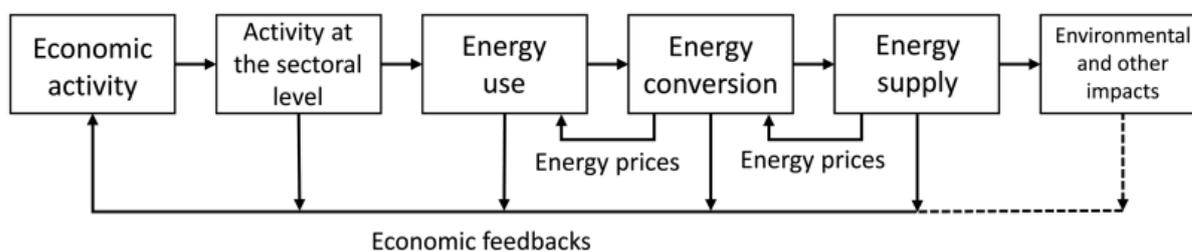
Este modelo permite a inserção dos dados de consumo de hora a hora, além de oferecer a aplicação de componentes de sistemas híbridos de geração de eletricidade renovável, como por exemplo placas fotovoltaicas e torres eólicas. Assim, o modelo energético simula o funcionamento da rede de energia referente a um ano de consumo. Os dados coletados estão apresentados no capítulo 4 deste trabalho.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Planejamento Energético Integrado (PEI)

Segundo Blok e Nieuwlaar (2021), o Planejamento Energético Integrado consiste na modelagem de sistemas energéticos tanto pelo lado da demanda (necessidade de usuários do sistema) quanto pelo lado da oferta (recursos possíveis ao sistema). No entanto, outros aspectos também devem ser considerados, tais como o sistema econômico e o sistema ambiental, como demonstra a Figura 1.

**Figura 2 - Esquema com vários componentes de um planejamento energético.**



Fonte: BLOK e NIEUWAAR, 2021.

De acordo com BAJAY (2016, *apud* DEL VALLE, 1985), um sistema energético é fundamental para a execução de determinados objetivos da sociedade, dentre os quais:

- Melhoria da qualidade de vida da população: se dá pela capacidade do sistema energético em satisfazer requerimentos de energia útil, que são a expressão, em termos energéticos, das necessidades sociais.
- Melhoria da capacidade da sociedade para autodeterminação: Isto se refere à capacidade da sociedade tomar suas decisões de acordo com seus próprios interesses, considerando as interações do sistema energético, tais como: a garantia de abastecimento, a vulnerabilidade sob forte endividamento externo, a dependência tecnológica, e outras.
- Melhoria da sustentabilidade ambiental da sociedade: Isto se refere à capacidade para sustentar o melhoramento, a longo prazo, da qualidade de vida, considerando interações entre o sistema energético e o meio ambiente, como, por exemplo: esgotamento de recursos não- renováveis, destruição de recursos renováveis, efeitos de poluentes sobre a saúde e sobre o ecossistema, e outras.

### 3.2 Modelos *Bottom-Up*, *Top-Down* e Híbrido

Diferentes tipos de modelos são utilizados para representar sistemas energéticos dentro de um planejamento. Os modelos com abordagem *Bottom-Up*, *Top-Down* e híbrido estão descritos nos tópicos a seguir.

- Modelos *Bottom-Up*: Segundo Pereira Jr *et al.* (2006), esta abordagem aplica-se à análise energética, mediante ao levantamento das características da estrutura tecnológica tanto da conversão, quanto do uso da energia. Este modelo é bastante utilizado para simulações como é previsto no objeto de estudo do presente trabalho.
- Modelos *Top-Down*: Estes modelos são usados para estudar uma classe completa e homogênea de consumidores e não levam em conta necessariamente a sua estrutura tecnológica e o uso final da energia. Pereira Jr *et al.* (2006).
- Modelos híbridos: Ainda de acordo com Pereira Jr *et al.* (2006) apud Frei *et al.* (2003), esse modelo busca mediar detalhes importantes do sistema energético com a determinação das variáveis macroeconômicas, além de aliar as interações econômicas e energéticas em uma estrutura consistente. Como o próprio nome já diz, essa abordagem é híbrida por ser a comunicação entre a parte macroeconômica e a técnico econômica do sistema energético.

### 3.3 Geração Distribuída

De acordo com Santos e Santos (2008), a geração distribuída pode ser definida pela produção de energia com geradores elétricos situados junto ou nas proximidades do consumidor). Este modo de geração de energia é uma das formas de ampliação do uso da energia solar no panorama nacional de fontes energéticas (PDE, 2022).

A partir dos dados apresentados por EPE (2021), observa-se que participação da capacidade de micro e minigeração distribuída de energia elétrica no panorama nacional, teve um crescimento estimulado principalmente por novas regulamentações, como, por exemplo, o Sistema de Compensação de Energia também conhecido como *Virtual Net Metering*. Vale destacar que em 2020 a micro e minigeração tiveram forte participação da fonte solar fotovoltaica, com 4.764 GWh e 4.635 MW de geração e potência instalada respectivamente.

A Resolução Normativa (RN) N° 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define os termos minigeração e microgeração conforme apresentado nos tópicos a seguir.

- I. Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.
- II. Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Entretanto, no ano de 2016 entrou em vigor a Resolução Normativa N° 687 da ANEEL, a qual prevê alterações na RN n° 487, com destaque para a mudança dos limites de potência para a micro e minigeração distribuída, passando estes a serem:

- I. Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- II. Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

O uso da geração distribuída tem crescido significativamente nos últimos anos no Brasil, chegando a 8.550 MW de capacidade instalada ao final do ano de 2021. Porém, não havia regulamentação jurídica acerca deste segmento, até que, em janeiro de 2022, foi sancionado pelo atual presidente de a república, o marco legal de microgeração e minigeração distribuída, a partir do Projeto de Lei n° 5.829/2019. Tal iniciativa tende a fortalecer e estimular o uso da geração distribuída, uma vez que há respaldo legal e diretrizes claras para este segmento. Um outro ponto a ser considerado pode ser demonstrado pela Resolução Normativa (RN) n°

482/2012 da ANEEL, que modificada pela RN nº 687/2015, permite o crédito na rede por até 5 anos, garantido aos usuários e fornecedores de geração distribuída.

### **3.4 Energia solar fotovoltaica**

O efeito fotovoltaico é a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade (VILLALVA, 2012). Este se dá por meio da transformação de da radiação eletromagnética do sol em energia elétrica. A grandeza utilizada para medir o nível de radiação solar em uma determinada área, expressa em  $W/m^2$  (Watt/ metro quadrado), é a irradiância. Assim, a medida de irradiância está relacionada à avaliação da eficiência dos componentes fotovoltaicos. Já a insolação consiste na quantificação de energia solar incidente sobre determinada área. Essa medida é expressa por  $Wh/m^2$ , podendo fornecer valores diários expressos por  $Wh/m^2/dia$  (VILLALVA, 2012). Essa medida é muito importante para estabelecer o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Os dados de insolação e irradiância do distrito serão apresentados no capítulo 4 deste trabalho.

Há diferentes tipos de tecnologias fotovoltaicas podendo ser classificadas como primeira geração (silício mono e policristalino), segunda geração (silício amorfo e filme fino) ou terceira geração (concentrador fotovoltaico) (EPE, 2012). A maioria dos painéis fotovoltaicos produzidos em escala mundial, são compostos por células de silício monocristalino ou policristalino – primeira geração. No entanto, as células de silício monocristalino são mais eficientes que as de policristalino, sendo a eficiência proporcional ao custo de produção.

Ao se tratar de aspectos econômicos, tem-se também os filmes finos – segunda geração, os quais podem passar a ganhar espaço no mercado de painéis fotovoltaicos, ainda que a matéria prima do silício esteja em maior abundância.

A tabela 1 apresenta o nível de eficiência dos materiais em relação à conversão da energia do Sol em energia elétrica.

**Tabela 1 - Eficiência típica dos módulos comerciais**

<b>Tecnologia</b>	<b>Eficiência</b>	<b>Área/kW<sub>p</sub></b>
<b>Silício cristalino</b>		
Monocristalino	13 a 19%	~7m <sup>2</sup>
Policristalino	11 a 15%	~8m <sup>2</sup>
<b>Filmes finos</b>		
Silício amorfo (a-Si)	4 a 8%	~15m <sup>2</sup>
Telureto de Cadmio (Cd-Te)	10 a 11%	~10m <sup>2</sup>
Disseleneto de cobre-índio-gálio (CIGS)	7 a 12%	~10m <sup>2</sup>

Fonte: EPE (2012, *apud* EPIA, 2011).

No Brasil, através dos dados do Censo IBGE 2010, obteve-se o número de domicílios do tipo casa e casa de vila que se encontravam na condição para receber sistemas fotovoltaicos. Tais domicílios representam 65% do total de domicílios brasileiros, sendo que foi adotado um fator de 85% referente a características limitantes, como sombras, chaminés, caixas d'água, antenas, aquecedores solares, que poderiam inviabilizar a instalação dos painéis fotovoltaicos em algumas residências. Assim, seriam ao todo 55% domicílios aptos a receber instalação de sistemas fotovoltaicos (EPE, 2014).

Além do cenário favorável de instalação em residências, Minas Gerais e São Paulo são os estados que possuem maior quantidade de placas fotovoltaicas (IPEA, 2018). Entretanto, um outro ponto a ser abordado ainda em relação ao panorama energético brasileiro é o de que, atualmente, devido ao custo elevado de instalação de sistemas fotovoltaicos, e por consequência, serem utilizados em grande parte por classes sociais mais altas (DANTAS e POMPERMAYER, 2018). Assim, a armazenagem de energia elétrica e compensação realizada por meio do *net metering* diminuiria, o valor da cinta de energia, reduzindo a quantidade de impostos pagos por esse tipo de consumidor, fazendo com que o reajuste deste valor recaia sobre os consumidores de energia elétrica sem acesso aos painéis FV.

Muito ainda será discutido e estabelecido acerca das diretrizes para uso da energia solar fotovoltaica, no entanto, é notável a diversidade da matriz energética brasileira, com destaque para as fontes renováveis, em especial, a energia solar fotovoltaica.

## 4. CENÁRIOS MODELADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 4.1 Cenários

Os cenários foram construídos considerando-se a demanda de três diferentes setores no distrito: o setor residencial, setor comercial e setor público. O setor residencial é composto por 243 casas comuns e 20 casas de veraneio. Para as casas comuns, considerou-se a presença de 3 residentes em cada casa e para as casas de veraneio, considerou-se a presença de moradores apenas aos finais de semana. Em relação ao setor comercial, podem ser observados estabelecimentos voltados ao turismo, tais como restaurantes, hotéis e pousadas e este setor é composto por 4 pousadas, 6 restaurantes e 1 mercearia. Por último, tem-se o setor público, que, neste caso, foi considerada apenas a demanda de energia elétrica para a iluminação pública. No entanto, não foram propostos recursos alternativos para a iluminação pública, visto que a iluminação já utiliza lâmpadas LED. Dessa forma, constatou-se que realizar intervenções nessa categoria, resultaria em dados pouco significativos frente ao consumo total do distrito.

Para elaboração do PEI do distrito de São Bartolomeu, foram elaborados 7 cenários a partir do Cenário Referência. Dentre eles, há cenários compostos por placas fotovoltaicas como fonte alternativa para abastecimento de energia elétrica no distrito, aquecedores solar da água e uso exclusivo de lâmpadas LED.

Os cenários modelados estão descritos nos tópicos abaixo.

- CENÁRIO 1 ou CENÁRIO REFERÊNCIA: Retrata o diagnóstico atual do perfil de consumo de energia do distrito considerando o consumo total dos três setores descritos anteriormente.
- CENÁRIO 2: Utilização de placas fotovoltaicas no distrito para abastecimento de energia elétrica, referente ao consumo do Cenário Referência.
- CENÁRIO 3: Neste cenário foi proposta a substituição de todas as lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED nos setores residencial e comercial, uma vez que o LED possui alto índice de eficiência energética (PEREIRA e CARVELLI, 2018).
- CENÁRIO 4: Substituição de todas as lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED nos setores residencial e comercial, além do uso de placas fotovoltaicas no distrito para abastecimento de energia elétrica.
- CENÁRIO 5: O quinto cenário busca reduzir o consumo a partir da eliminação do chuveiro elétrico, instalando aquecedores solares de água apenas no setor residencial e nas pousadas do setor comercial.

- CENÁRIO 6: Instalação de aquecedores solares de água apenas no setor residencial e nas pousadas do setor comercial, além do uso de placas fotovoltaicas no distrito para abastecimento de energia elétrica.
- CENÁRIO 7: Junção dos Cenários 3 e 5. Ou seja, todos os setores utilizam lâmpadas LED, além das residências possuírem aquecimento solar da água.
- CENÁRIO 8: Junção dos Cenários 4 e 6. Ou seja, todos os setores utilizam lâmpadas LED, além das residências possuírem aquecimento solar da água, aliado ao uso de placas fotovoltaicas para abastecimento de energia elétrica.

## **4.2 Consumo de energia**

Os cenários 1 (Referência), 3, 5 e 7 representam as curvas de carga que são a base da modelagem dos sistemas energéticos utilizando painéis fotovoltaicos nos cenários 2, 4, 6 e 8, respectivamente. As curvas de carga base estão descritas nos tópicos a seguir.

### **4.2.1 Cenário Referência: Diagnóstico atual**

A partir do levantamento das informações de eficiência e hábito de uso dos aparelhos, foi definida a curva de carga de energia elétrica no Cenário Referência, a cada hora ao longo de um dia.

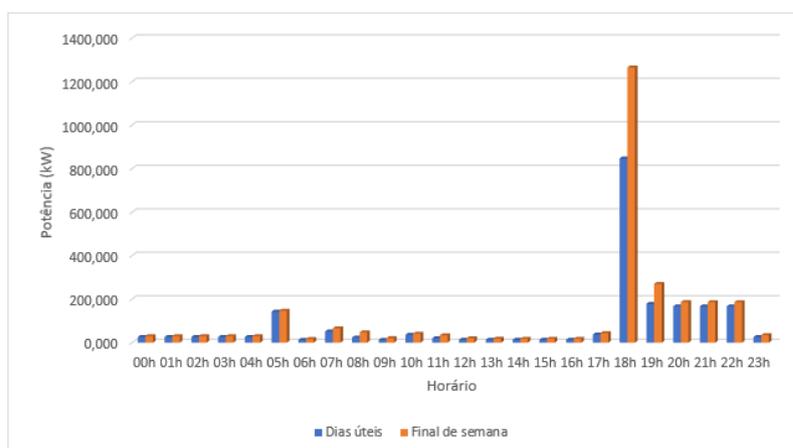
**Tabela 2 - Curva de carga do Cenário Referência**

HORÁRIO	Dias úteis	Final de semana
00h	25,954	30,100
01h	25,954	30,100
02h	25,954	30,100
03h	25,954	30,100
04h	25,954	30,100
05h	142,594	146,740
06h	12,754	16,900
07h	51,634	65,780
08h	23,689	47,565
09h	12,884	21,350
10h	35,945	41,431
11h	20,660	33,976
12h	13,284	20,710
13h	13,284	18,370
14h	13,284	18,070
15h	13,284	18,070
16h	13,284	18,070
17h	37,584	44,060
18h	846,609	1264,955
19h	178,229	269,705
20h	167,294	186,620
21h	166,894	186,440
22h	166,894	186,440
23h	25,954	34,940
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>2085,8117 kWh</b>	<b>2790,6917 kWh</b>

Fonte: Elaboração própria.

Os dados acima são a base da curva de carga do distrito. Assim, foi construída a curva de carga do Cenário Referência para os dias úteis e finais de semana.

**Figura 3 - Curva de carga do Cenário Referência**



Fonte: Elaboração própria.

#### 4.2.2 Cenário 3: Uso de lâmpadas LED

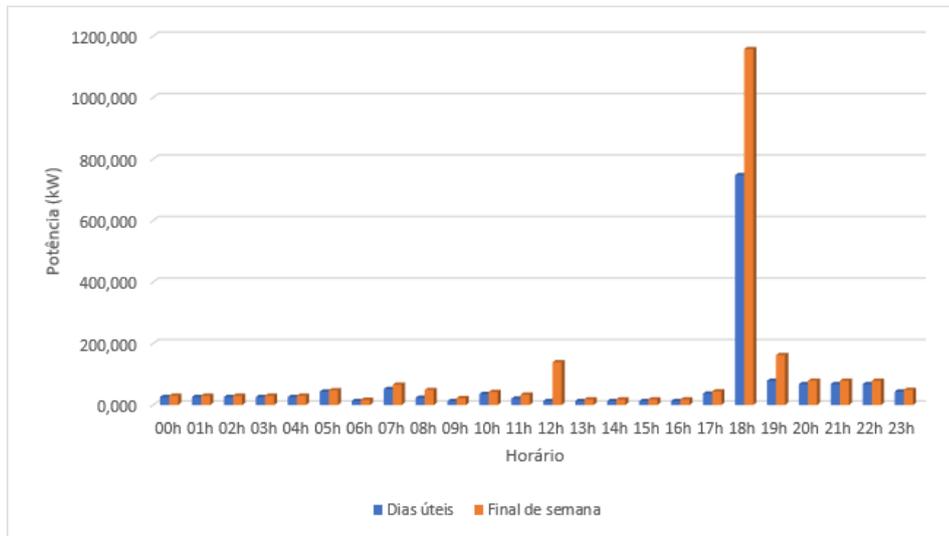
A tabela 3 apresenta a demanda do consumo de energia, considerando a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED no distrito, a cada hora ao longo de um dia. A curva de carga está representada na figura 4.

**Tabela 3 - Curva de carga de energia do Cenário 3**

HORÁRIO	Dias úteis	Final de semana
00h	25,954	30,100
01h	25,954	30,100
02h	25,954	30,100
03h	25,954	30,100
04h	25,954	30,100
05h	43,450	47,596
06h	12,754	16,900
07h	51,634	65,780
08h	23,689	48,465
09h	12,884	22,250
10h	35,945	42,031
11h	20,660	33,376
12h	12,908	138,910
13h	12,908	18,370
14h	12,908	18,070
15h	12,908	18,070
16h	12,908	18,070
17h	37,208	44,060
18h	747,089	1157,451
19h	78,709	162,201
20h	67,774	79,116
21h	67,750	78,936
22h	67,750	78,936
23h	43,450	49,036
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>1505,0597 kWh</b>	<b>2288,1237 kWh</b>

Fonte: Elaboração própria.

**Figura 4 - Curva de carga do Cenário 3**



Fonte: Elaboração própria.

#### 4.2.3 Cenário 5: Uso de aquecedor solar de água

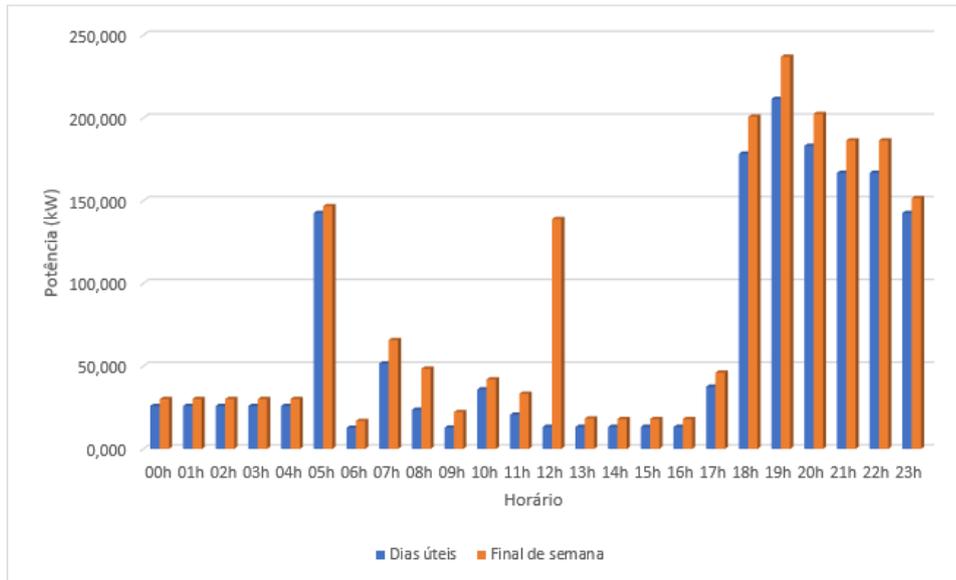
A tabela 4 apresenta a demanda do consumo de energia, considerando o uso de aquecedores solar da água para chuveiros, a cada hora ao longo de um dia. A curva de carga está representada na figura 5.

**Tabela 4 - Curva de carga de energia do Cenário 5**

HORÁRIO	Dias úteis	Final de semana
00h	25,954	30,100
01h	25,954	30,100
02h	25,954	30,100
03h	25,954	30,100
04h	25,954	30,100
05h	142,594	146,740
06h	12,754	16,900
07h	51,634	65,780
08h	23,689	48,465
09h	12,884	22,250
10h	35,945	42,031
11h	20,660	33,376
12h	13,284	138,910
13h	13,284	18,370
14h	13,284	18,070
15h	13,284	18,070
16h	13,284	18,070
17h	37,584	46,060
18h	178,359	200,705
19h	211,520	236,996
20h	183,089	202,415
21h	166,894	186,440
22h	166,894	186,440
23h	142,594	151,580
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>1583,2877 kWh</b>	<b>1948,1677 kWh</b>

Fonte: Elaboração própria.

**Figura 5 - Curva de carga do Cenário 5**



Fonte: Elaboração própria.

#### **4.2.4 Cenário 7: Uso de lâmpadas LED e aquecedor solar**

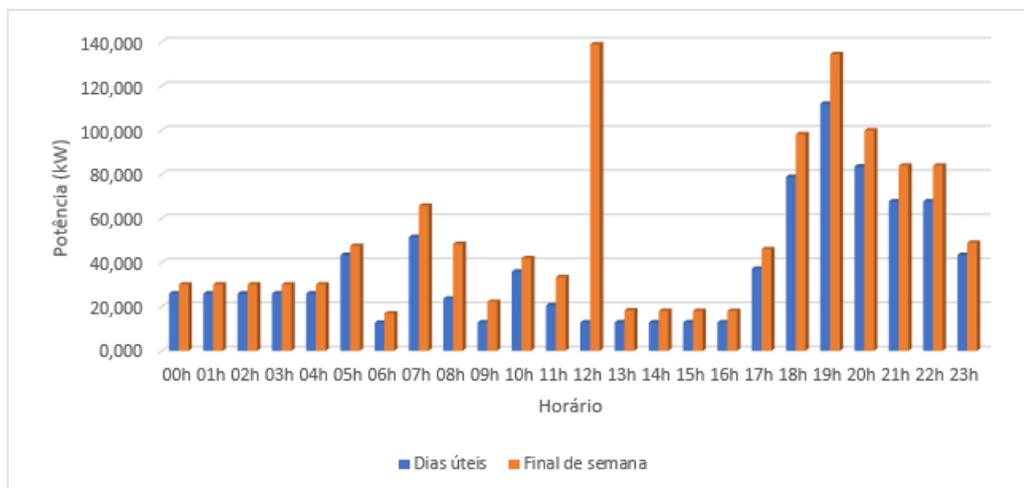
A tabela 5 apresenta a demanda do consumo de energia, considerando a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED e o uso de aquecedores solar da água para chuveiros no distrito, a cada hora ao longo de um dia. A curva de carga está representada na figura 6.

**Tabela 5 - Curva de carga de energia do Cenário 7**

HORÁRIO	Dias úteis	Final de semana
00h	25,954	30,100
01h	25,954	30,100
02h	25,954	30,100
03h	25,954	30,100
04h	25,954	30,100
05h	43,450	47,596
06h	12,754	16,900
07h	51,634	65,780
08h	23,689	48,465
09h	12,884	22,250
10h	35,945	42,031
11h	20,660	33,376
12h	12,908	138,910
13h	12,908	18,370
14h	12,908	18,070
15h	12,908	18,070
16h	12,908	18,070
17h	37,208	46,060
18h	78,839	98,161
19h	112,000	134,452
20h	83,569	99,871
21h	67,750	83,896
22h	67,750	83,896
23h	43,450	49,036
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>885,8957 kWh</b>	<b>1233,7597 kWh</b>

Fonte: Elaboração própria

**Figura 6 - Curva de carga do Cenário 7**



Fonte: Elaboração própria.

### 4.3 Premissas

As tarifas de consumo de energia de acordo com CEMIG, concessionária distribuidora de energia da região, referentes à cada setor são:

- Setor Residencial: R\$ 1,13/kWh;
- Setor Comercial: R\$ 1,21/kWh; (B3 - DEMAIS CLASSES – Ponta);
- Setor público: R\$ 0,37/kWh; (Iluminação Pública - B4b - Bulbo da Lâmpada).

O consumo de energia do setor residencial representa 84% do consumo total do distrito, enquanto os setores comercial e público representam respectivamente 10% e 6%. Para definir a tarifa de consumo de energia a ser utilizada na simulação dos cenários, foi feita uma média ponderada a qual tem sua fórmula descrita abaixo:

$Tp$  = Tarifa de consumo total.

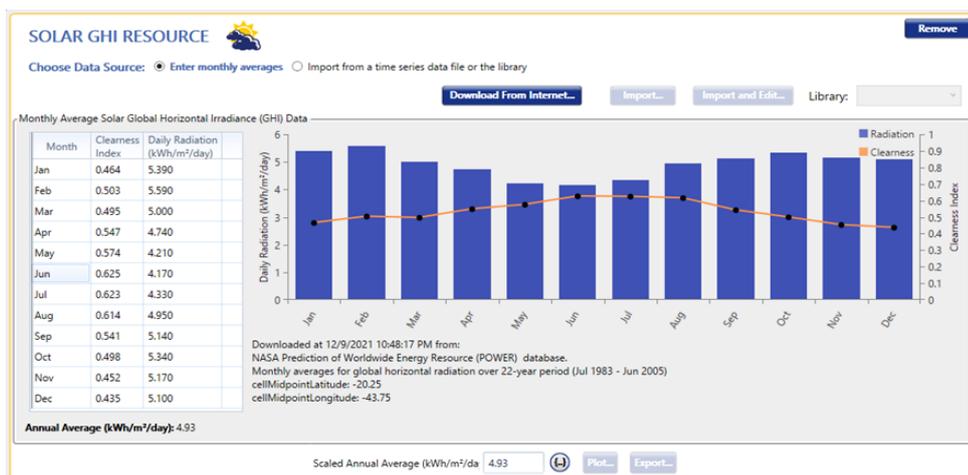
$$Tp = \frac{84 * 1,13 + 10 * 1,21 + 6 * 0,37}{100}$$

Logo, o valor da tarifa é de R\$ 1,0924/kWh.

Além disso, outros valores foram pré-estabelecidos para elaboração dos cenários como a taxa de desconto de 8% a.a., baseada na taxa utilizada nas simulações do Modelo de Decisão de Investimentos (MDI) do PDE 2030; taxa de inflação de 5%; tempo de projeto de 20 anos; tempo de vida da placa fotovoltaica de 20 anos e tempo de vida do inversor de 10 anos. De acordo com EPE (2020), o setor elétrico brasileiro emitiu no ano de 2019, em média, apenas 90,0 kg CO<sub>2</sub> para produzir 1 MWh, assim foi considerado a emissão de 90,0 g CO<sub>2</sub>/kWh.

Para o cálculo de cada cenário, foi utilizada informação de nível de insolação do distrito, fornecida pelo próprio modelo energético, o qual está descrito na figura 7.

**Figura 7 - Nível de insolação do distrito**



Fonte: Elaboração própria, a partir de Homer Pro, 2022.

Ainda foi utilizada a taxa *Derating Factor* de 60%, a qual representa um fator de escala aplicado pelo HOMER Pro à potência da matriz fotovoltaica (PV) para considerar a produção reduzida em condições reais de funcionamento como, por exemplo, sujidade dos painéis, perdas de cabos, sombreamento, envelhecimento, e assim por diante, em comparação com as condições sob as quais o painel PV foi classificado (HOMER Energy, 2022).

Em relação às características<sup>1</sup> dos componentes usados para captação e conversão de energia solar, iluminação LED e aquecimento solar da água, a Tabela 6 descreve o aparelho e sua respectiva, potência, valor e custo de manutenção, sendo este considerado como 10% do valor total do aparelho.

**Tabela 6 - Características dos componentes utilizados**

APARELHO	POTÊNCIA (kW)	VALOR	CUSTO DE MANUTENÇÃO/ANO
Placa Fotovoltaica	1	R\$ 3.000,00	R\$ 30,00
Inversor Solar Ongrid	5	R\$ 6.300,00	R\$ 63,00
Lâmpada LED	0,012	R\$ 6,59	-
Aquecedor de água solar externo	-	R\$ 2.800,00	R\$ 28,00

Fonte: Elaboração própria.

Os custos de aquisição e instalação dos aquecedores solar de água e das lâmpadas LED, não estão inclusos nos dados utilizados no HOMER Pro. Assim, o custo total destes componentes é acrescentado manualmente aos valores obtidos por meio do modelo energético. Foi considerado o uso de apenas um aquecedor solar de água para cada residência (comuns e de veraneio) e para cada pousada, totalizando 267 aquecedores. O custo de instalação dos aquecedores foi definido como 50% do valor de um aquecedor, o qual está descrito na tabela 6, totalizando R\$ 1.400,00 por aquecedor. Já a quantidade total de lâmpadas LED dos setores comercial e residencial é de 1783 lâmpadas. O custo de aquisição de cada unidade de lâmpada também está descrito na tabela 6.

Os equipamentos eletrônicos utilizados nos comércios e residências estão listados na Tabela 7. É importante ressaltar que, como visto em BLOK e NIEUWAAR (2021), deve-se

<sup>1</sup> Características definidas considerando uma unidade de cada componente.

levar em consideração na modelagem do sistema os aspectos socioeconômicos do objeto de estudo. Assim, para o presente trabalho considera-se o uso de aparelhos mais simples e em menor quantidade nos estabelecimentos e residências do distrito.

**Tabela 7 - Aparelhos utilizados nos setores residencial e comercial**

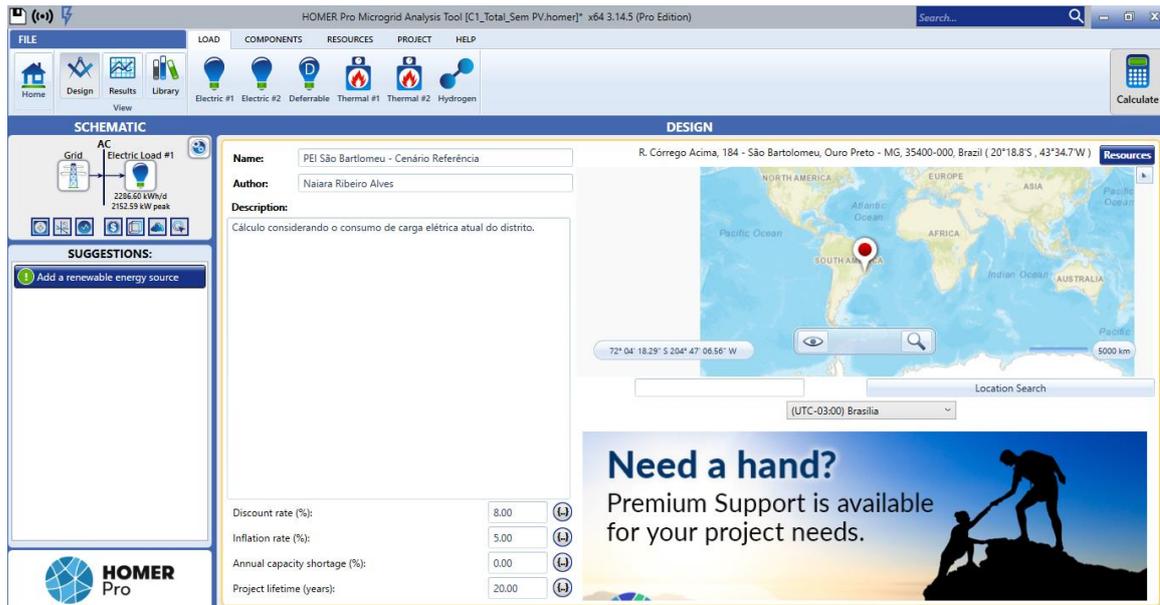
SETOR RESIDENCIAL		SETOR COMERCIAL	
APARELHOS	POTÊNCIA (W)	APARELHOS	POTÊNCIA (W)
Aparelho de som	45	Aparelho de som	45
Carregador de celular	15	Batedeira	65
Chuveiro Elétrico	5500	Chuveiro Elétrico	5500
Computador	65	Computador	65
Ferro de passar	1000	Ferro de passar	1000
Fogão com acendedor automático	90	Fogão com acendedor automático	90
Geladeira	150	Freezer	90
Lâmpada incandescente	80	Geladeira	150
Lâmpada LED	12	Lâmpada incandescente	80
Liquidificador	200	Lâmpada LED	12
Máquina de Lavar	800	Liquidificador	200
Microondas	900	Máquina de Lavar	800
Tanquinho	730	Microondas	900
Televisão	100	Televisão	100

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.4 Modelagem dos Cenários

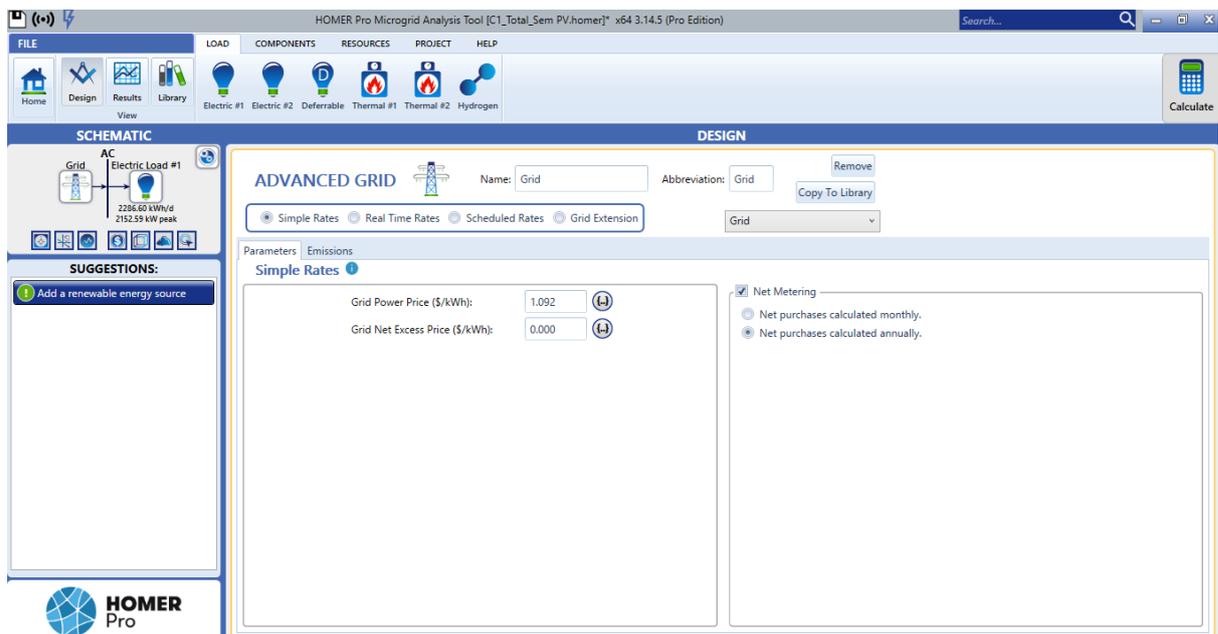
Abaixo estão apresentados os dados inseridos no HOMER Pro para simulação dos diferentes cenários.

**Figura 8 - Taxas de desconto e inflação, localização e tempo de projeto**



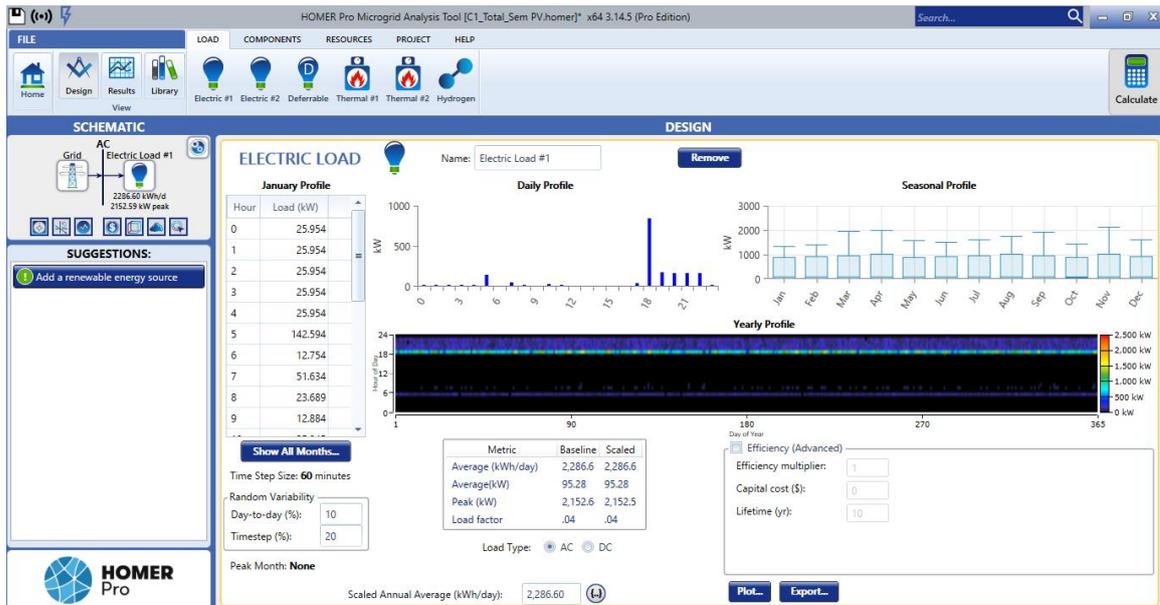
Fonte: Elaboração própria a partir de HOMER Pro (2022).

**Figura 9 - Configuração dos dados da rede de energia elétrica**



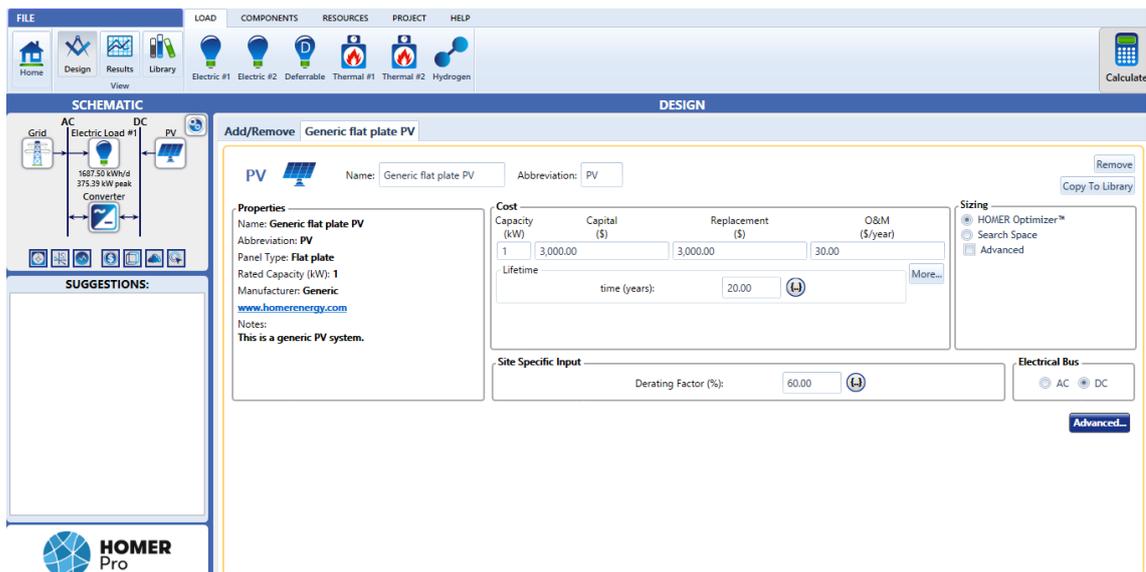
Fonte: Elaboração própria a partir de HOMER Pro (2022).

Figura 10 - Configuração da carga de consumo do Cenário Referência



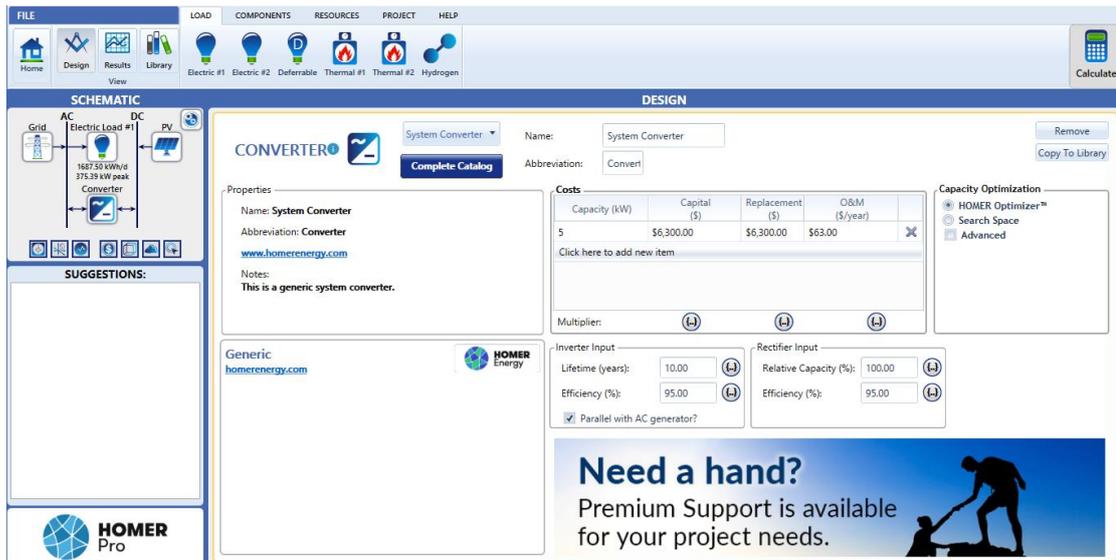
Fonte: Elaboração própria a partir de HOMER Pro (2022).

Figura 11 - Configuração dos dados para a placa fotovoltaica



Fonte: Elaboração própria a partir de HOMER Pro (2022).

**Figura 12 - Configuração dos dados para o inversor**



Fonte: Elaboração própria a partir de HOMER Pro (2022).

O foco foi a avaliação das características técnico-econômicas, assim como a análise de sustentabilidade, considerando o nível de emissão de dióxido de carbono para cada Cenário.

#### 4.3.1 Cenário Referência e Cenário 2

A partir da configuração e modelagem dos dados relativos aos Cenários 1 e 2, obteve-se os resultados apresentados nas figuras 13, 14, 15 e 16.

**Figura 13 - Dados econômicos Cenários 1 e 2**

	Architecture			Cost		
	PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	Initial capital (\$)	
Cenário 1		999,999		\$13.7M	\$0.00	
Cenário 2	782	999,999	416	\$3.71M	\$2.87M	

Fonte: Elaboração própria a partir de HOMER Pro (2022).

**Figura 14 - Tempo de payback Cenário 2**

Metric	Value
Present worth (\$)	\$10,038,140
Annual worth (\$/yr)	\$665,841
Return on investment (%)	24.8
Internal rate of return (%)	30.2
Simple payback (yr)	3.25
Discounted payback (yr)	3.47

Fonte: HOMER Pro (2022).

É possível constatar que para o uso de energia fotovoltaica para abastecimento do distrito, seriam necessárias 782 placas fotovoltaicas. Já o *Net Present Cost* (NPC) ou Valor Presente Líquido (VPL), representa o valor atual do montante referente a todos os custos de instalação e operação dos componentes ao longo do tempo de projeto, menos o valor atual de todas as receitas obtidas ao longo do projeto. Neste caso, observa-se que o NPC é de R\$ 3.710.000,00 uma redução de aproximadamente 73% se comparado ao valor de R\$ 13.700.00,00 empregado à energia fornecida apenas pela rede já existente.

O *payback* é uma indicação de quanto tempo levaria a recuperar a diferença nos custos de investimento entre o sistema atual e o sistema de caixa de base (HOMER Energy, 2022). Neste caso, seriam necessários aproximadamente, 3 anos e meio para recuperar o valor de investimento referente ao Cenário 2.

**Figura 15 - Emissão de CO<sub>2</sub> Cenário Referência**

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	75,115	kg/yr

Fonte: HOMER Pro (2022).

**Figura 16 - Emissão de CO<sub>2</sub> Cenário 2**

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	66,296	kg/yr

Fonte: HOMER Pro (2022).

Ainda sob análise dos dados obtidos, sabe-se que ao aplicar o Cenário 2, em um ano serão emitidos 66.296 kg de dióxido de carbono, conforme mostra a figura 16. Porém, há formas de compensar a emissão de carbono, como por exemplo, o plantio de árvores.

Um estudo realizado por Gatto, A. *et al.* (2011) na região Centro-Leste de Minas Gerais, mostra que à idade de 84 meses (idade esperada para corte da floresta), as plantações de eucalipto retêm, em média, 14,15 t/ha/ano de dióxido de carbono. O eucalipto é, geralmente, plantado com espaçamento 3mx2m, o que equivale a 1.666 plantas por hectare (HIGA et al., 2000). Ao se considerar tais observações, seriam necessários ao menos 4,68 hectares de plantações de eucalipto ou 7.797 árvores para absorver o dióxido de carbono emitido neste cenário.

### 4.3.2 Cenários 3 e 4

A partir da configuração e modelagem dos dados relativos aos Cenários 3 e 4, obteve-se os resultados apresentados nas figuras 17, 18, 19 e 20.

**Figura 17 - Dados econômicos Cenários 3 e 4**

	Architecture			Cost	
	PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	Initial capital (\$)
Cenário 3		999,999		\$10.4M	\$0.00
Cenário 4	594	999,999	308	\$5.21M	\$2.17M

Fonte: Elaboração própria a partir de HOMER Pro (2022).

**Figura 18 - Tempo de *payback* Cenário 4**

Metric	Value
Present worth (\$)	\$5,176,318
Annual worth (\$/yr)	\$343,351
Return on investment (%)	17.4
Internal rate of return (%)	22.4
Simple payback (yr)	4.28
Discounted payback (yr)	4.64

Fonte: HOMER Pro (2022).

Observa-se que para abastecimento de energia elétrica para o Cenário 4 por meio da energia solar fotovoltaica, seriam necessárias 594 placas fotovoltaicas. Para os Cenários 3 e 4 foram adicionados ao valor do VPL gerado pelo HOMER Pro, o valor total referente à compra de LED.

Assim, para o VPL do Cenário 3 será o valor de R\$ 10.4 Mi acrescido do valor das lâmpadas LED, multiplicado pelo número total de residências, resultando no montante final de R\$ 10.411.749,97. Já o valor do VPL para o Cenário 4 será R\$ 5.21 Mi acrescido do valor das lâmpadas LED, multiplicado pelo número total de residências, resultando no montante final de R\$5.221.749,97. Isso indica uma redução de 62% em relação ao VPL do Cenário Referência. Em relação ao *payback* do Cenário 4, seriam necessários quase 5 anos para recuperar o seu valor de investimento.

**Figura 19 - Emissão de CO<sub>2</sub> Cenário 3**

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	56,768	kg/yr

Fonte: HOMER Pro (2022).

**Figura 20 - Emissão de CO<sub>2</sub> Cenário 4**

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	47,258	kg/yr

Fonte: HOMER Pro (2022).

Ao se tratar da emissão de CO<sub>2</sub>, serão emitidos 56.768 kg de dióxido de carbono por ano para o Cenário 3 e 47.258 kg/ano para o Cenário 4, o qual apresenta redução de 37% de emissões se comparado ao Cenário Referência.

Em relação aos estudos realizados por GATTO, A. *et al.* (2011) e HIGA *et al.* (2000), tem-se que ao aplicar o Cenário 4, seriam necessários ao menos 3,34 hectares de plantações de eucalipto ou 5.565 árvores para absorver o dióxido de carbono emitido neste cenário.

### 4.3.3 Cenários 5 e 6

A partir da configuração e modelagem dos dados relativos aos Cenários 5 e 6, obteve-se os resultados apresentados nas figuras 21, 22, 23 e 24.

**Figura 21 - Dados econômicos Cenários 5 e 6**

	Architecture			Cost		
	PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	Initial capital (\$)	
Cenário 5		999,999		\$10.1M	\$0.00	
Cenário 6	598	999,999	274	\$2.73M	\$2.14M	

Fonte: Elaboração própria a partir de HOMER Pro (2022).

**Figura 22 - Tempo de *payback* Cenário 6**

Metric	Value
Present worth (\$)	\$7,410,262
Annual worth (\$/yr)	\$491,531
Return on investment (%)	24.6
Internal rate of return (%)	29.9
Simple payback (yr)	3.29
Discounted payback (yr)	3.51

Fonte: HOMER Pro (2022).

Observa-se que para abastecimento de energia elétrica para o Cenário 6 por meio da energia solar fotovoltaica, seriam necessárias 598 placas fotovoltaicas. Para os Cenários 5 e 6 foram adicionados ao valor do VPL gerado pelo HOMER Pro, o valor total referente ao custo de aquisição e instalação dos componentes do aquecedor solar da água.

Assim, para o VPL do Cenário 5 será considerado o valor de R\$ 10.1 Mi acrescido do valor do aquecedor solar, multiplicado pelo número total de residências e pousadas, resultando no montante final de R\$ 11.221.400,00. Já o valor do VPL para o Cenário 6 resulta no montante final de R\$ 3.851.400,00. Indicando uma redução de 72% em relação ao VPL do Cenário Referência. Em relação ao *payback* do Cenário 6, também seriam necessários 3 anos e meio assim como é previsto para o Cenário 2, para recuperar o valor de investimento do uso de placas fotovoltaicas.

**Figura 23 - Emissão de CO<sub>2</sub> Cenário 5**

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	55,434	kg/yr

Fonte: HOMER Pro (2022).

**Figura 24 - Emissão de CO<sub>2</sub> Cenário 6**

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	45,904	kg/yr

Fonte: HOMER Pro (2022).

Ao se tratar da emissão de CO<sub>2</sub>, serão emitidos 55.434 kg de dióxido de carbono por ano para o Cenário 5 e 45.904 kg/ano para o Cenário 6, o qual apresenta redução de 39% de emissões se comparado ao Cenário Referência.

Em relação aos estudos realizados por GATTO, A. *et al.* (2011) e HIGA *et al.* (2000), tem-se que ao aplicar o Cenário 6, seriam necessários ao menos 3,24 hectares de plantações de eucalipto ou 5.405 árvores para absorver o dióxido de carbono emitido neste cenário.

#### 4.3.4 Cenários 7 e 8

A partir da configuração e modelagem dos dados relativos aos Cenários 1 e 2, obteve-se os resultados apresentados nas figuras 25, 26, 27 e 28.

**Figura 25 - Dados econômicos Cenários 7 e 8**

	Architecture			Cost	
	PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	Initial capital (\$)
Cenário 7		999,999		\$5.85M	\$0.00
Cenário 8	340	999,999	165	\$1.57M	\$1.23M

Fonte: Elaboração própria a partir de HOMER Pro (2022).

**Figura 26 - Tempo de *payback* Cenário 8**

Metric	Value
Present worth (\$)	\$4,278,554
Annual worth (\$/yr)	\$283,801
Return on investment (%)	24.7
Internal rate of return (%)	30.1
Simple payback (yr)	3.27
Discounted payback (yr)	3.49

Fonte: HOMER Pro (2022).

Observa-se que o Cenário 8 apresenta a menor quantidade de placas fotovoltaicas até então, sendo necessárias 340 placas. Para os Cenários 7 e 8 foram adicionados ao valor do VPL

gerado pelo HOMER Pro, o valor total referente ao custo de aquisição e instalação das lâmpadas LED e dos componentes do aquecedor solar da água.

Assim, para o VPL do Cenário 7 será considerado o valor de R\$ 5.85 Mi acrescido do valor do aquecedor solar, multiplicado pelo número total de residências e pousadas, resultando no montante final de R\$ 6.983.149,97. Já o valor do VPL para o Cenário 8 resulta no montante final de R\$ 2.703.149,97, indicando redução de 80% em relação ao VPL do Cenário Referência.

Em relação ao *payback* do Cenário 8, seriam necessários aproximadamente 3 anos e meio para recuperar o seu valor de investimento.

**Figura 27 - Emissão de CO<sub>2</sub> Cenário 7**

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	31,964	kg/yr

Fonte: HOMER Pro (2022).

**Figura 28 - Emissão de CO<sub>2</sub> Cenário 8**

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	23,356	kg/yr

Fonte: HOMER Pro (2022).

Ao se tratar da emissão de CO<sub>2</sub>, serão emitidos 31.964 kg de dióxido de carbono por ano para o Cenário 7 e apenas 23.356 kg/ano para o Cenário 8, o qual apresenta redução de 69% de emissões se comparado ao Cenário Referência.

Em relação aos estudos realizados por GATTO, A. *et al.* (2011) e HIGA *et al.* (2000), tem-se que ao aplicar o Cenário 8, seriam necessários ao menos 1,65 hectares de plantações de eucalipto ou 2.750 árvores para absorver o dióxido de carbono emitido neste cenário. Esse valor representa metade dos recursos necessários para compensar as emissões do Cenário 6.

## 4.5 Comparativo entre os Cenários

A partir dos resultados apresentados anteriormente, as Tabelas 8 e 9 apresentam as informações obtidas de forma compilada a fim de facilitar a análise individual de cada cenário.

**Tabela 8 - Comparativo Dados Econômicos dos Cenários**

Cenário	Descrição do cenário	Custo Inicial (R\$)	Payback (ano)	VPL (NPC) (R\$)	Redução de custos (%)
Cenário 1	Diagnóstico atual do distrito	-	-	R\$ 13.700.000,00	-
Cenário 2	Utilização de Painéis PV para o consumo atual	R\$ 2.870.000,00	3,47	R\$ 3.710.000,00	73%
Cenário 3	Uso de lâmpadas LED	-	-	R\$ 10.411.749,97	24%
Cenário 4	Uso de lâmpadas LED + Painéis PV	R\$ 1.783.081,00	4,64	R\$ 5.221.749,97	62%
Cenário 5	Aquecimento solar da água	-	-	R\$ 11.221.400,00	18%
Cenário 6	Aquecimento solar da água + Painéis PV	R\$ 1.794.601,00	3,51	R\$ 3.851.400,00	72%
Cenário 7	Uso de lâmpadas LED + Aquecimento solar da água	-	-	R\$ 6.983.149,97	49%
Cenário 8	Uso de lâmpadas LED + Aquecimento solar da água + Painéis PV	R\$ 1.020.964,00	3,49	R\$ 2.703.149,97	80%

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 9 - Comparativo Dados de Emissão de CO<sub>2</sub> fornecidos pelo HOMER Pro**

Cenário	Descrição do cenário	Emissão CO <sub>2</sub> /ano (kg)	Redução de emissão (%)
Cenário 1	Diagnóstico atual do distrito	75.115	-
Cenário 2	Utilização de Painéis PV para o consumo atual	66.296	12%
Cenário 3	Uso de lâmpadas LED	56.768	24%
Cenário 4	Uso de lâmpadas LED + Painéis PV	47.258	37%
Cenário 5	Aquecimento solar da água	55.434	26%
Cenário 6	Aquecimento solar da água + Painéis PV	45.904	39%
Cenário 7	Uso de lâmpadas LED + Aquecimento solar da água	31.964	57%
Cenário 8	Uso de lâmpadas LED + Aquecimento solar da água + Painéis PV	23.356	69%

Fonte: Elaboração própria.

Diante das alternativas propostas, há de se analisar a viabilidade de implementação de cada uma, envolvendo principalmente as variáveis técnico-econômicas dos sistemas energéticos utilizados. Em destaque, estão as células preenchidas em vermelho, as quais indiciam resultados não tão significativos, seja na redução do VPL, ou na emissão do dióxido

de carbono. Já, preenchidas em verde, são os valores que indicam o melhor aproveitamento dos recursos oferecidos naquele cenário.

Assim, um cenário ótimo seria a implementação do Cenário 8, o qual conta com uso de lâmpadas LED, aquecimento solar da água e placas fotovoltaicas para abastecimento de energia. Enquanto ao se considerar o cenário de menor impacto, tem-se o Cenário 5 considerando-se o VPL e o Cenário 2, ao se considerar a emissão de CO<sub>2</sub>. Entretanto, os resultados indicados não podem ser classificados como melhor ou pior do que outro cenário, uma vez que a tomada de decisão envolve diferentes perspectivas de planejamento.

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÃO FINAIS

O presente trabalho retrata o diagnóstico do consumo de energia do distrito de São Bartolomeu, tendo como objeto de estudo, a elaboração do Planejamento Energético Integrado do distrito, tanto pelo lado da oferta, quanto pelo lado da demanda, a partir dos dados. Foram considerados aspectos técnico-econômicos do sistema energético do distrito, bem como levantados os recursos necessários para construção de diferentes Cenários e oportunidades de otimização do Cenário Referência.

Por meio da análise dos Cenários, foi possível elencar componentes a serem utilizados, de forma mais eficiente, como lâmpadas LED, aquecimento solar da água e uso de geração distribuída, como, por exemplo, a energia solar fotovoltaica. O planejamento energético integrado permite uma avaliação mais concisa e fiel das variáveis envolvidas, além de auxiliar na tomada de decisões.

O distrito recebe energia por meio da concessionária distribuidora de energia CEMIG. Como o distrito possui menor população e estrutura mais simples se comparado à cidade de Ouro Preto, foi proposta o desenvolvimento de uma fazenda solar fotovoltaica como parte dos recursos utilizados nos Cenários envolvidos. Foram então elaborados 7 diferentes Cenários baseados no Cenário Referência. Algumas informações destacam-se no planejamento dos Cenários, como o Valor presente líquido (NPC), a amortização simples e aspectos ambientais como a pegada de carbono e busca pela redução de gases de efeito estufa no ecossistema.

Com base nos dados obtidos indica-se que o cenário que melhor proporciona redução do valor presente líquido é o Cenário 8, o qual é composto pelo uso de lâmpadas LED, aquecimento solar da água e uso de placas fotovoltaicas para abastecimento de energia. Já o cenário com menor impacto financeiro é o Cenário 3, o qual prevê a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED.

Em relação à emissão de dióxido de carbono através do sistema energético, o Cenário 8 também representa a opção ideal, apontando redução de 69% da emissão de CO<sub>2</sub> em comparação ao Cenário Referência. Por outro lado, o investimento em apenas placas fotovoltaicas no distrito representa redução de 12% da emissão, combinando as fontes de energia hidrelétrica e solar.

Além dos benefícios apresentados, o uso da geração distribuída permite ainda a aplicação do *Virtual Net Metering*, permitindo ao usuário final a armazenagem de energia elétrica produzida por meio das placas fotovoltaicas, sendo resguardado o direito de crédito na

rede de energia elétrica por até 5 anos, conforme a regulamentação brasileira. Assim, é possível realizar a gestão do uso da energia, utilizando de volta a energia que foi enviada para a rede em períodos de geração excedente.

Como o presente projeto foi elaborado baseado em curvas de cargas estimadas para os diferentes Cenários, sugere-se a medição do consumo de energia em mais estabelecimentos para trabalhos futuros, bem como a possibilidade de testes *in loco* com os recursos propostos neste trabalho, a exemplo de residências e comércios com lâmpadas LED e instalação de serpentinas para coleta de dados mais precisos. Mediante o resultado positivo em relação à instalação de placas fotovoltaicas, recomenda-se que a prefeitura e associações do distrito invistam em uma pesquisa mais detalhada acerca da viabilidade de implementação de uma fazenda solar no distrito.

Por fim, destaca-se a importância deste estudo enquanto fomento ao desenvolvimento planejado integrado dos sistemas energéticos, considerando-se alternativas mais eficientes e sustentáveis. Assim, conclui-se que o presente trabalho atingiu os objetivos propostos. É importante ressaltar que a geração distribuída e a gestão eficiente da energia elétrica têm ganhado cada vez mais espaço frente ao panorama da matriz elétrica brasileira, diante da limitação de recursos naturais e financeiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/atren2012482.pdf>>. Acesso em 22/04/2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. Disponível em: <<https://ensolarecia.com.br/wp-content/uploads/2020/03/RN-687-Aneel.pdf>>. Acesso em 29/05/2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Nota técnica DEA 19/14: Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Rio de Janeiro: EPE. 2014.

ANDROFF, Amy. Trees Are Climate Change, Carbon Storage Heroes. Forest Service: US Department of Agriculture. 2021. Disponível em: <<https://www.fs.usda.gov/features/trees-are-climate-change-carbon-storage-heroes>>. Acesso em: 06/06/2022.

BAJAY, Sergio Valdir. Planejamento energético: Necessidade, objetivo e metodologia. Revista Brasileira de Energia, Vol. 1, Nº 1.

BLOK, Kornelis. NIEUWLAAR, Evert. Introdução à análise de energia. 3a edição. Abingdon, Oxon; Nova Iorque: Routledge, 2021.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Dantas Fabiano Mezadre. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020. Rio de Janeiro. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. RELATÓRIO SÍNTESE BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2020: Ano Base 2019. Rio de Janeiro: EPE. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Ministério de Minas e Energia. Plano Decenal de Expansão de Energia. Brasília: MME/EPE. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Nota Técnica: Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Rio de Janeiro: EPE. 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Agência de Desenvolvimento do Nordeste. Aspectos Fundamentais do Planejamento Energético. 2005.

FIGUEIREDO, Livia Thais Moreira de. SOARES, Carlos Pedro Boechat. SOUSA, Agostinho Lopes de. LEITE, Hélio Garcia. SILVA, Gilson Fernandes da Silva. Dinâmica do estoque de carbono em fuste de árvores de uma floresta estacional semidecidual. *Cerne*: v. 21, n. 1, p. 161-167. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cerne/a/NmhWDPZYy8m6KzHJqW9rM6K/?format=pdf&lang=pt>>.

GATTO, Alcides; DE BARROS, Nairam Félix; DE NOVAIS, Roberto Ferreira; DA SILVA, Ivo Ribeiro; LEITE, Hélio Garcia; VILLANI, Ecila Mercês de Albuquerque. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n.4, p.895-905, 2011.

HIGA, Rosana Clara Victoria; MORA, Admir Lopes; HIGA, Antonio Rioyei. Plantio de Eucalipto na Pequena Propriedade Rural. Embrapa Florestas. Curitiba. 2000. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc54\\_000fjvb9ypm02wyiv80sq98yq0mwtkuk.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc54_000fjvb9ypm02wyiv80sq98yq0mwtkuk.pdf)>. Acesso em 14/06/2022.

HOMER Energy. HOMER Pro 64bit. 3.14.5. 2022. Download.

HOMER Energy. Net Present Cost. Disponível em: <[https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/net\\_present\\_cost.html](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/net_present_cost.html)>. Acesso em: 03/06/2022.

HOMER Energy. PV Derating Factor. Disponível em: <[https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/pv\\_derating\\_factor.html](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/pv_derating_factor.html)>. Acesso em: 03/06/2022.

IBGE. OURO PRETO (MG). Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ouro-preto/historico>>. Acesso em 20/04/2022.

IPATRIMONIO ORG. Ouro Preto – Tradicional Produção de Doces Artesanais de São Bartolomeu. Disponível em: <<http://www.ipatrimonio.org/ouro-preto-tradicional-producao-de-doces-artesanais-de-sao-bartolomeu/#!/map=38329&loc=-20.31347091010229,-43.57705462210723,17>>. Acesso em 22/04/2022.

JUNIOR, Amaro O. Pereira; SOARES, Jeferson B.; ARAÚJO, Mauro A.; LA ROVERE, Emílio Lèbre; COSTA, Ricardo C. Modelos Energéticos: Uma Proposta de Planejamento Integrado.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Sancionada lei que institui marco legal da geração distribuída. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/sancionada-lei-que-institui-marco-legal-da-geracao-distribuida>>. Acesso em 01/06/2022.

PEREIRA JR, Amaro O.; SOARES, Jeferson B.; ARAÚJO, Mauro A.; LA ROVERE, Emílio L.; COSTA, Ricardo C. “Modelos Energéticos: Uma Proposta de Planejamento Integrado”. In: V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2006.

PEREIRA, Ysabela Thaiz; CARVELLI, Edénir. Vantagens econômicas, ambientais e de durabilidade da lâmpada de led em comparação as lâmpadas fluorescentes tubulares. Revista Uningá Review, [S.l.], v. 33, n. 2, p. 180 - 190, junho 2018. ISSN 2178-2571. Disponível em: <<http://34.233.57.254/index.php/uningareviews/article/view/130>>. Acesso em: 11/05/2022.

SANTOS, Fernando Antonio. SANTOS, Fernando Miguel. Geração distribuída versus centralizada. Instituto Politécnico de Viseu. 2008.

SILVA, Inacio Andrade. Patrimonialização, tradição e transmissão: o saber-fazer doces artesanais no distrito de São Bartolomeu (Ouro Preto/Minas Gerais). 2016. 148 f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

VILLALVA, Marcelo Gradella. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. Editora Érica LTDA. 2ed. São Paulo. 2012.