



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO



VICTOR DIEGO PREATO CLAVERO

PLANEJAMENTO ENERGÉTICO INTEGRADO NO
DISTRITO DE PARACATU DE BAIXO EM MARIANA – MG

Ouro Preto – MG

2023

VICTOR DIEGO PREATO CLAVERO

**PLANEJAMENTO ENERGÉTICO INTEGRADO NO
DISTRITO DE PARACATU DE BAIXO EM MARIANA – MG**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador. Gustavo Nikolaus Pinto de Moura

Ouro Preto – MG

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C617p Clavero, Victor Diego Preato.
Planejamento energético integrado no distrito de Paracatu de Baixo em Mariana - MG. [manuscrito] / Victor Diego Preato Clavero. - 2023.
51 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Nikolaus Pinto de Moura.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Energia - Fontes alternativas - Planejamento. 2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Redes elétricas inteligentes. I. de Moura, Gustavo Nikolaus Pinto. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Victor Diego Preto Clavero

**PLANEJAMENTO ENERGÉTICO INTEGRADO NO
DISTRITO DE PARACATU DE BAIXO EM MARIANA – MG**

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

Aprovada em 16 de agosto de 2023

Membros da banca

Prof. D.Sc - Gustavo Nikolaus Pinto de Moura - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. D.Sc - Bruna de Fatima Pedrosa Guedes Flausino - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. D.Sc - Magno Silvério Campos - 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 29/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Nikolaus Pinto de Moura, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/08/2023, às 13:34, 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 29/08/2023, às 14:12, 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 **Magno Silverio Campos, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/09/2023, às 14:03, 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, informando o código verificador **0582518** e o código CRC **63B829FA**.

RESUMO

O planejamento energético para um reassentamento é fundamental para garantir uma adequada infraestrutura energética e o fornecimento de energia confiável aos moradores. Com isso, é necessário definir estratégias de eficiência energética e investimentos em redes inteligentes para garantir uma distribuição equitativa e sustentável. Este estudo propõe a elaboração de cenários energéticos para suprimento do distrito de Paracatu de Baixo em Mariana, bem como as possibilidades de recursos energéticos alternativos, considerando aspectos relacionados a *Smart grids*. Como objetivos específicos foram identificadas as iniciativas de *Smart grids* no Brasil e no mundo, as novas tecnologias de eletrodomésticos inteligentes disponíveis no mercado, aspectos relacionados a Planejamento Energético Integrado (PEI), além das características da oferta e demanda de energia no setor residencial brasileiro e sistema de automação aplicados à bairros inteligentes. A metodologia usada no trabalho foi a pesquisa bibliográfica, baseada em livros, artigos científicos e dissertações, relatórios de governos e empresas, agentes setoriais e repositórios. Os resultados obtidos indicaram a instalação de placas fotovoltaicas, embora sugere-se uma investigação mais detalhada, para aplicar outras possibilidades.

Palavras-chaves: Planejamento energético. Energia solar fotovoltaica. *Smart grids*

ABSTRACT

Energy planning for resettlement is essential to ensure adequate energy infrastructure and reliable energy supply to residents. As a result, it is necessary to define energy efficiency strategies and investments in *smart grids* to ensure equitable and sustainable distribution. This study proposes the development of energy scenarios to supply the district of Paracatu de Baixo in Mariana, as well as the possibilities of alternative energy resources, considering aspects related to *Smart grids*. As specific objectives, the *Smart grids* initiatives in Brazil and in the world, the new technologies of smart home appliances available in the market, aspects related to Integrated Energy Planning (PEI), in addition to the characteristics of supply and demand for energy in the Brazilian residential sector and automation system applied to smart neighborhoods. The methodology used in the work was bibliographical research, based on books, scientific articles and dissertations, reports from governments and companies, sectoral agents and repositories. The results obtained indicated the installation of photovoltaic panels, although a more detailed investigation is suggested, to apply other possibilities.

Keywords: Energy planning. Photovoltaic solar energy. *Smart grids*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo no setor residencial brasileiro	12
Figura 2 – Matriz energética brasileira 2022.....	13
Figura 3 – Fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo em 2020	15
Figura 4 – Matriz elétrica brasileira 2022	16
Figura 5 – Consumo de energia elétrica na classe residencial em 2022	16
Figura 6 – Consumo de eletricidade e intensidade por pessoa no Brasil em 2020	17
Figura 7 – <i>Smart grids</i>	19
Figura 8 – Medidor inteligente	25
Figura 9 – Esquema principal de controle de queda.....	28
Figura 10 – Imagem do inversor e recipiente de armazenamento.....	28
Figura 11 – Curva de carga residencial – (401 a 500) kWh / mês	33
Figura 12 – Taxa de desconto; inflação; tempo do projeto e localização	35
Figura 13 – Dados das placas fotovoltaicas	35
Figura 14 – Dados da rede.....	35
Figura 15 – Recurso de energia solar em Mariana	36
Figura 16 – Curva de carga	37
Figura 17 – Dados para econômicos	39
Figura 18 – Dados para payback	39
Figura 19 – Comparativo emissão CO ₂ por ano	39
Figura 20 – Curva de carga/cenário.....	42
Figura 21 – Dados econômicos	42
Figura 22 – Emissão de CO ₂ por ano.....	42
Figura 23 – Cenário alternativo 3	43
Figura 24 – Curvas de carga.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Premissas básicas	34
Tabela 2 - Aparelhos e respectivas potências	36
Tabela 3 – Aparelhos eletrônicos e potências.....	37
Tabela 4 - Curva de carga para 32 casas.....	38
Tabela 5 – Curva de carga inicial e Curva de carga em 32 casas	41
Tabela 6 – Comparação entre os cenários	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Justificativa.....	8
1.2	Objetivos.....	9
1.2.1	Objetivo Geral	9
1.2.2	Objetivos Específicos	9
2	METODOLOGIA	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	Consumo no Setor Residencial Brasileiro	12
3.1.1	Demanda de Energia no Brasil	16
3.1.2	Dados específicos	18
3.2	Conceito de bairros inteligentes	19
3.2.1	Monitoramento e controle avançados.....	20
3.2.2	Integração de fontes de energia renovável.....	20
3.2.3	Armazenamento de energia	20
3.2.4	Gerenciamento de carga e resposta à demanda.....	20
3.3	<i>Smart grids</i> no setor residencial	21
3.3.1	Custos	21
3.3.2	Incertezas	23
3.3.3	<i>Smart metering</i>	24
3.4	Exemplos de iniciativas de bairros com Smart Grid no mundo	25
3.4.1	<i>Smart Grids</i> na França	26
3.4.2	<i>Smart Grids</i> nos Estados Unidos.....	26
3.4.3	<i>Smart Grids</i> na Nova Zelândia	26
3.4.1	<i>Smart Grids</i> na Europa.....	27
3.5	Exemplos de iniciativas de bairros com Smart Grid no Brasil.....	29
3.6	Regulamentação de <i>Smart grids</i> no Brasil	29
4	. CENÁRIOS ENERGÉTICOS PARA O DISTRITO DE PARACATU DE BAIXO	32
4.1	Objeto de estudo (Cenários)	32
4.1.1	Premissas básicas para os cenários	33
4.1.2	Cenário de referência	37
4.1.3	Cenário alternativo 1 – PV.....	39
4.1.4	Cenário alternativo 2 – aquecedores solares para água	40
4.1.5	Cenário Alternativo 3 – placas solares e aquecedor solar de água	43
4.1.6	Comparativo entre os cenários	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

O Brasil enfrenta atualmente desafios significativos em seu planejamento energético. Com uma população cada vez maior e o crescimento da urbanização, é necessário promover o uso mais eficiente dos recursos energéticos para evitar problemas como apagões ou escassez de combustível. Assim, diversificar a matriz energética tornou-se uma prioridade.

Uma estrutura robusta de planejamento de energia que leve em consideração fatores como projeções de crescimento da demanda, avanços tecnológicos, preocupações ambientais e implicações sociais é crucial. Sobretudo, melhorar as interconexões entre regiões e investir em infraestrutura de transmissão ajudará a otimizar a utilização de recursos e reduzir a dependência de fontes específicas.

A iniciativa de *smart grids* tem sido uma estratégia cada vez mais adotada no Brasil e no mundo para tornar o sistema elétrico mais eficiente, sustentável e resiliente. No Brasil, as *smart grids* são implementadas em diferentes regiões do país com o objetivo de melhorar a gestão da energia elétrica, reduzir perdas técnicas, otimizar a operação das distribuidoras e facilitar a integração de fontes renováveis na rede.

Dessa forma, as *smart grids* proporcionam aos consumidores maior controle sobre seu consumo de energia por meio de sistemas avançados de medição e automação residencial. Em escala global, países como Estados Unidos, Canadá e Alemanha têm liderado essa iniciativa ao promover a modernização dos sistemas elétricos através da implantação de tecnologias inteligentes que permitem monitoramento em tempo real, gerenciamento remoto e eficiência energética.

Este estudo demonstra a expansão das *smart grids* no Brasil, e de como a expansão dessas redes inteligentes é considerada uma excelente alternativa para enfrentar os desafios colocados pela transição para um cenário energético mais sustentável. Enquanto as redes elétricas tradicionais lutam para atender às demandas de uma sociedade cada vez mais eletrificada, as redes inteligentes oferecem uma solução promissora ao integrar tecnologias digitais avançadas à infraestrutura existente, aspectos relacionados ao Planejamento Energético Integrado (PEI), estudos sobre sistemas de automação residencial aplicados a bairros inteligentes e características da oferta e demanda de energia.

Identificam também, essa pesquisa, a proposta de cenários energéticos alternativos no Reassentamento de Paracatu de Baixo, que está sendo construído devido aos impactos ambientais causados pela mineração na região, uma tragédia ocorrida em 2015, com o rompimento da barragem de Fundão, localizada na cidade de Mariana - MG fez com que o

antigo distrito fosse destruído. Além do impacto ambiental, um imensurável impacto social foi causado, fazendo com que a construção desse Reassentamento, seja uma das ações feitas para tentar minimizar esses impactos. Porém sabemos que não será como o distrito antigo. Pelo apresentado anteriormente, se deu a escolha desse local e, portanto, esse estudo levará em consideração o novo distrito com suas características mais modernas, propondo apenas cenários energéticos.

1.1 Justificativa

Este estudo justifica-se pela importante e relevante necessidade de buscar soluções sustentáveis e eficientes para suprir a demanda energética da região do distrito de Paracatu de Baixo, em Mariana, considerando os impactos ambientais e sociais causados pela mineração na área.

Dessa forma, a busca por fontes de energia renováveis pode contribuir para ampliar o serviço de energia no setor residencial brasileiro, reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e mitigar os efeitos das mudanças climáticas. O estudo dos cenários energéticos alternativos também pode trazer benefícios econômicos para a região, por meio do uso de novas tecnologias e da geração de empregos na área. É importante destacar também que o tema está em consonância com a necessidade de preservação do meio ambiente e da busca por fontes de energia mais limpas e renováveis.

Além disso, a diversificação da matriz energética pode trazer maior segurança energética para o país, reduzindo a dependência de fontes não renováveis e sujeitas a flutuações de preços no mercado internacional. Portanto, investir em estudos e projetos relacionados aos cenários energéticos alternativos, analisando a viabilidade técnico-econômica de sistemas distribuídos, é fundamental para garantir um futuro sustentável e próspero para as próximas gerações.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

- Elaborar cenários energéticos para suprimento de energia elétrica do Reassentamento de Paracatu de Baixo em Mariana, considerando aspectos relacionados a *Smart grids*.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar iniciativas de *Smart grids* no Brasil e no Mundo;
- Elaborar cenários de suprimento energético para o distrito de Paracatu de Baixo;
- Identificar as possibilidades de recursos energéticos alternativos no local do distrito;
- Identificar aspectos relacionados a Planejamento Energético Integrado (PEI);
- Identificar características da oferta e demanda de energia no setor residencial brasileiro;
- Identificar estudos sobre sistemas de automação residenciais aplicados a bairros inteligentes;
- Realizar revisão bibliográfica a respeito do conceito de *Smart grids*.

2 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho é pesquisa bibliográfica, baseada em livros, artigos científicos, teses e dissertações, relatórios de governos e de empresas, agentes setoriais, bem como repositórios.

A finalidade da pesquisa bibliográfica, segundo Lakatos e Marconi (2001, p. 183) é “colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto”.

Os temas mais enfatizados nos periódicos foram: Iniciativas de *Smart grids* no Brasil e no mundo; cenários de suprimento energético; recursos energéticos alternativos; novas tecnologias de eletrodomésticos inteligentes disponíveis no mercado; o uso do PEI; sistema de automação residencial aplicados a bairros inteligentes; regulamentação de *Smart grids* no Brasil. Aspectos de Planejamento Energético Integrado foram considerados a partir da análise realizado por Blok (2019).

Quanto à abordagem do estudo, apresenta-se a dimensão qualitativa na natureza da pesquisa. Segundo Triviños (1987), a abordagem de cunho qualitativo trabalha os dados buscando seu significado, tendo como base a percepção do fenômeno dentro do seu contexto.

A abordagem qualitativa consoante os estudos elaborados por Goldenberg (1997, p. 34) explica que:

“A pesquisa qualitativa não se preocupa com a responsabilidade numérica, mas, sim com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc. Os pesquisadores que adotam a abordagem qualitativa opõem-se ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências, já que as ciências sociais têm sua especificidade, o que pressupõe uma metodologia própria. Assim pesquisadores qualitativos recusam o modelo positivista ao estudo da vida social, uma vez que o pesquisador não pode fazer julgamentos nem permitir que seus preconceitos e crenças contaminem a pesquisa”.

No que se refere aos objetivos, esta pesquisa pode ser classificada como exploratória. De acordo com Gil (1999), os estudos exploratórios têm como objetivo principal desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Segundo palavras do autor, o tipo de pesquisa exploratória é aquela com menor grau de planejamento, pois tem como escopo proporcionar uma visão geral, de tipo aproximativo e sua comparação com outros métodos.

Será utilizado também, juntamente com a pesquisa bibliográfica, o estudo de caso. Para Hartley, o estudo de caso consiste em uma investigação detalhada de uma ou mais organizações, ou grupos dentro de uma organização, com vistas a prover uma análise do contexto e dos processos envolvidos no fenômeno em estudo.

O fenômeno não está isolado, já que o interesse do pesquisador é justamente essa relação entre o fenômeno e seu contexto. A abordagem de estudo de caso não é um método propriamente dito, mas uma estratégia de pesquisa (HARTLEY, 1994).

Assim, o estudo de caso possibilitará ao pesquisador centrar-se em uma situação ou aspecto específico e identificar os diversos processos que interagem no contexto estudado. Esses processos podem permanecer ocultos em pesquisas de larga escala, porém são importantes para o sucesso de organizações ou sistemas (BELL, 1989).

Foi utilizado também, nesse estudo, um modelo energético de análise de micro redes, o modelo Homer, que permite aos usuários projetar e otimizar sistemas de energia renovável. O Homer Pro é a versão mais recente do modelo, que oferece uma interface mais amigável e recursos avançados para análise de dados.

Com o Homer Pro, os usuários podem modelar sistemas de energia renovável, como painéis solares, turbinas eólicas e baterias, para determinar a melhor combinação para atender às necessidades energéticas específicas. O modelo também permite a simulação de diferentes cenários para avaliar o desempenho do sistema em diferentes condições climáticas e operacionais (HOMER, 2023).

Além disso, o Homer Pro oferece recursos avançados, como análise financeira e otimização de custos, permitindo que os usuários avaliem o retorno sobre o investimento em seus sistemas de energia renovável, além de realizar análises financeiras abrangentes, com possibilidade de avaliar o custo-benefício de seus sistemas de energia renovável e determinar se estão obtendo um retorno adequado sobre seu investimento.

Entretanto, a otimização de custos é outra característica importante do Homer Pro, capaz de identificar maneiras de reduzir os custos operacionais e maximizar a eficiência energética. Isso pode incluir ajustes na configuração do sistema ou a implementação de novas tecnologias para melhorar o desempenho. Dessa forma, o Homer Pro torna-se uma ferramenta poderosa para ajudar os usuários a tomar decisões informadas sobre seus sistemas de energia renovável (HOMER, 2023).

Por fim, os resultados coletados serão ordenados e averiguados, por meio de análise dos dados, sendo representados por tabelas, para avaliar o conhecimento sobre os cenários energéticos para suprimento do distrito de Paracatu de Baixo em Mariana.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Consumo no Setor Residencial Brasileiro

Cerca de 29 Mtep (Milhões de toneladas equivalentes de petróleo) de energia são consumidas pelo setor residencial do Brasil, conforme Figura 1. De acordo com Empresa de Pesquisa Energética (EPE), este número é bem significativo e substancial para as atividades diárias da população, como alimentar eletrodomésticos, iluminação, sistemas de aquecimento ou refrigeração, entre outros. No entanto, observa-se que, com os crescentes avanços em tecnologia e soluções domésticas inteligentes, há maiores oportunidades para reduzir o consumo de energia, aliviando o impacto ambiente associado aos altos níveis de uso de energia (EPE, 2022).

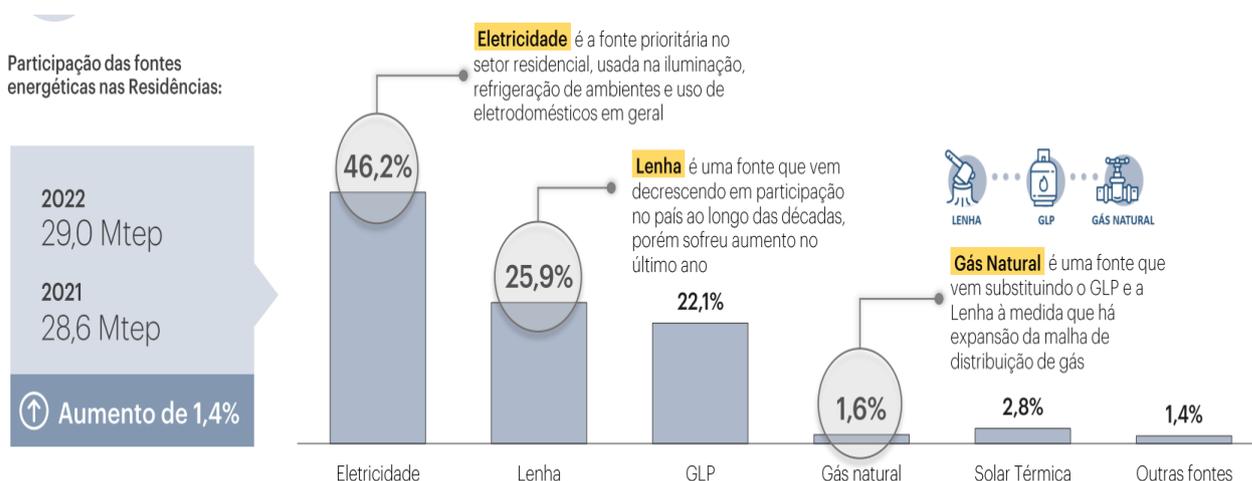


Figura 1 – Consumo no setor residencial brasileiro

Fonte: BEN (2023)

Apesar dos esforços para promover a eficiência energética por meio de campanhas educativas e da implantação de tecnologias mais sustentáveis, o consumo doméstico de energia continua aumentando a cada ano, devido as mudanças na sociedade, potencializadas pela pandemia de COVID-19, que fez com que o trabalho remoto aumentasse consideravelmente. Hoje o Brasil consome cerca de 271,3 Mtep de energia elétrica por ano, diante desse contexto, projeta-se que o consumo residencial dobrará até 2050, se não forem feitas mudanças (EPE, 2022).

A matriz energética brasileira refere-se à combinação de todas as fontes de energia usadas para abastecer o país. Em 2023, o Brasil depende fortemente da hidroeletricidade, que responde por cerca de 60% de seu suprimento de energia elétrica. No entanto, apesar do

domínio da energia hidrelétrica como fonte de energia renovável, existem também reservas significativas de outras fontes, como energia eólica e solar, além de biogás da agricultura e resíduos, como demonstra Figura 2 (EPE, 2022).

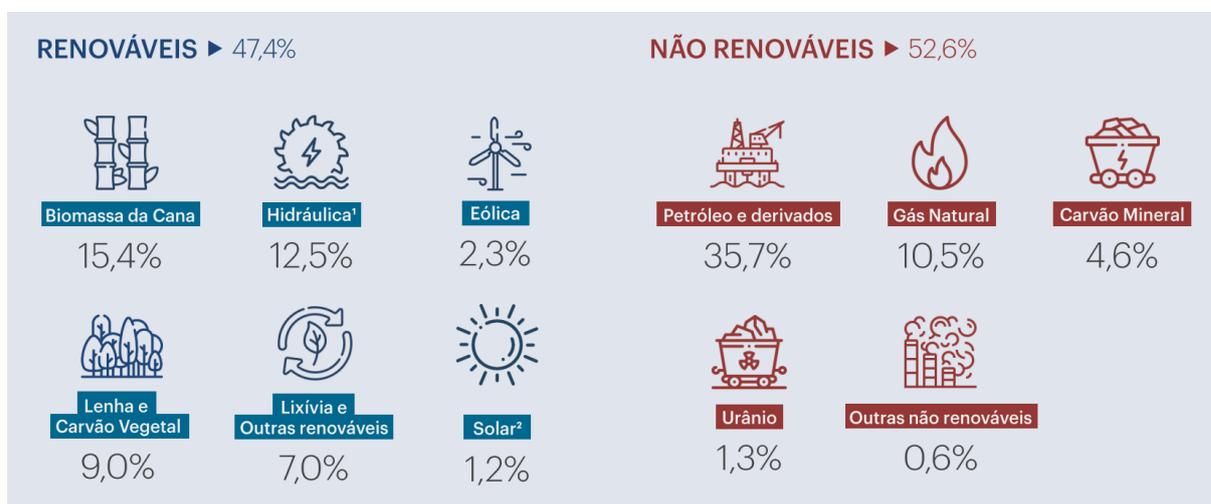


Figura 2 – Matriz energética brasileira 2022
Fonte: BEN (2023)

O Brasil está entre os cinco maiores países do mundo em potencial de energia eólica, com suas regiões litorâneas apresentando altos níveis de exposição ao vento que proporcionam condições favoráveis para a produção de eletricidade. Além disso, os altos níveis de radiação solar na maioria das regiões do Brasil o tornaram um destino atraente para investimentos em sistemas fotovoltaicos. O governo brasileiro tem pressionado pela diversificação de seu portfólio de energia para garantir maior sustentabilidade e segurança no abastecimento (EPE, 2022).

Diante disso, os investimentos em energia solar e eólica estão crescendo rapidamente no Brasil, cerca de R\$ 338 bilhões já foram investidos, com novos projetos surgindo em todo o país. As condições climáticas favoráveis, o desenvolvimento tecnológico e a preocupação das empresas brasileiras em atender às demandas ambientais são alguns dos fatores que impulsionam esse aumento. Os incentivos oferecidos pelo governo através de programas como o Proinfa e leilões regulares de fontes alternativas de energia têm atraído investidores nacionais e estrangeiros para o setor.

Nesse cenário em transformação, as empresas que investirem em soluções sustentáveis poderão conquistar vantagens competitivas, tanto financeiras quanto reputacionais, ampliando a capacidade instalada de painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas no Brasil, tendência essa que

representa uma grande oportunidade para negócios alinhados com práticas socioambientais responsáveis.

Segundo dados recentes, da EPE 2022, mais de 85% do fornecimento de eletricidade do país vem de fontes renováveis, como hidrelétricas e turbinas eólicas. De acordo com Figura 3, a matriz energética brasileira é mais renovável do que a mundial. Em comparação com outras fontes, as energias solar e eólica têm emissões de GEE mais baixas, tornando-as uma opção muito mais ambientalmente sustentável. Em todo o mundo, países estão intensificando esse quadro quando se trata de energia mais limpa.

Em 2020, mais de 60% da nova capacidade de eletricidade instalada globalmente foi renovável. Esta é uma mudança significativa em relação aos combustíveis fósseis tradicionais e destaca a crescente demanda por soluções de energia sustentável. A queda nos custos associados às tecnologias de energia renovável e menos poluentes, tem sido fundamental para impulsionar as taxas de adoção, tornando-as ambiental, social, e economicamente viáveis (EPE, 2022).

Governos e empresas reconheceram a necessidade de reduzir as emissões de carbono e estão cada vez mais estabelecendo metas ambiciosas de energia renovável para combater as mudanças climáticas. No entanto, ainda existem desafios significativos associados à integração de energias renováveis nas redes elétricas existentes, incluindo problemas de intermitência e limitações de armazenamento. Apesar desses desafios, o crescimento contínuo das energias renováveis pode representar um passo positivo para alcançar um futuro sustentável para as próximas gerações.

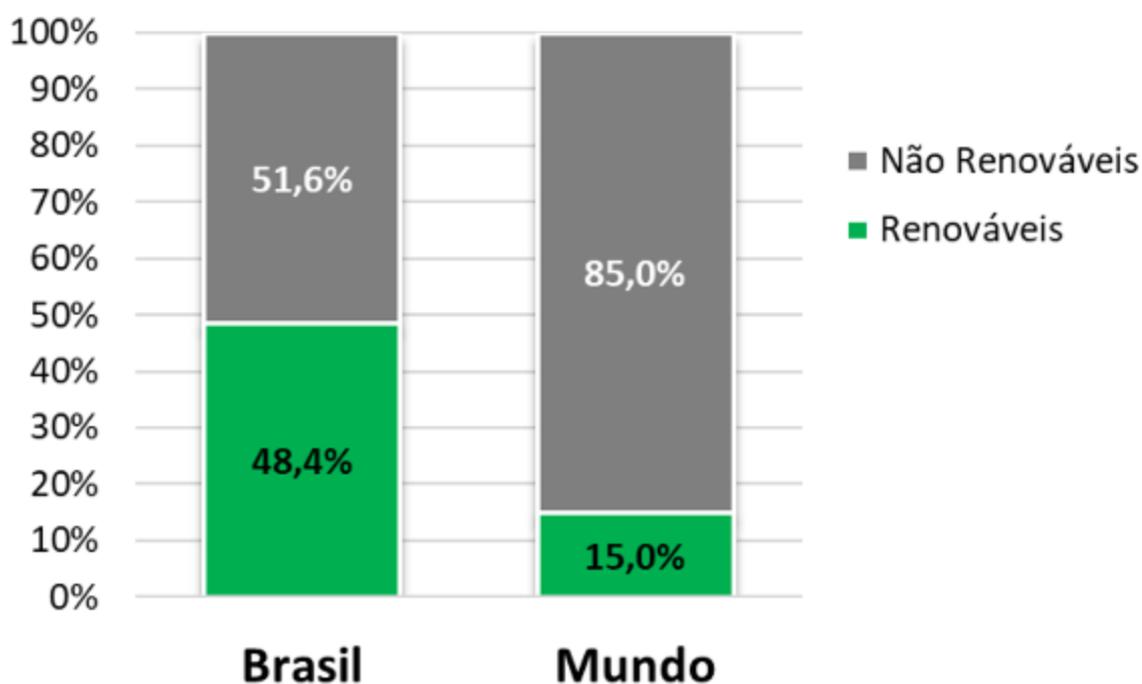


Figura 3 – Fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo em 2020
 Fonte: EPE (2022)

A matriz elétrica brasileira compreende a utilização de várias fontes de energia, incluindo energia hidrelétrica, energia térmica, energia eólica e energia solar. Percebe-se, na Figura 4, que a energia hidrelétrica é a fonte dominante de energia na matriz elétrica do Brasil. Isso tem levado a algumas preocupações sobre a vulnerabilidade do sistema durante as secas (EPE, 2022).

Dessa forma, o governo tem diversificado a matriz energética, aumentando o investimento em fontes renováveis, como eólica e solar, reconhecendo que a dependência de qualquer forma de energia pode ser arriscada para a economia e o meio ambiente. Diante disso, aumentou o investimento em fontes renováveis, como eólica, solar, hidroeletricidade e biomassa.

Pode-se pensar que a energia renovável é muito cara ou não confiável para atender de forma satisfatória à demanda por eletricidade, porém, essas preocupações estão desatualizadas ou simplesmente incorretas. No geral, a pressão por um *mix* de energia mais diversificado e sustentável reflete uma mudança importante nas prioridades dos formuladores de políticas em todo o mundo (EPE, 2022).

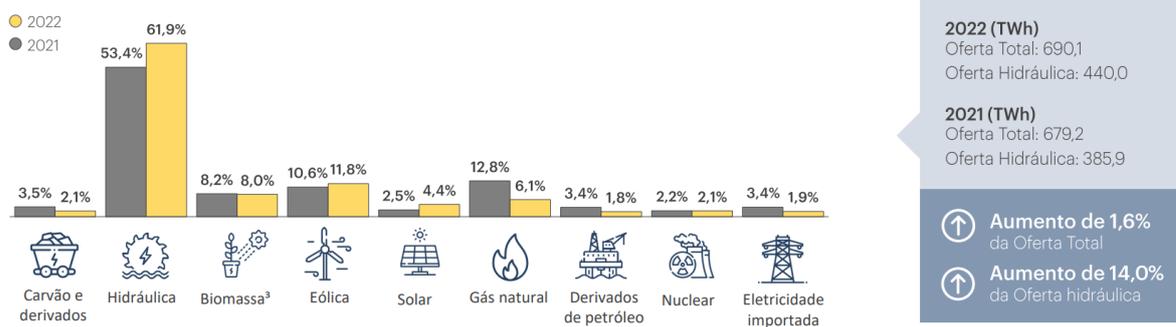


Figura 4 – Matriz elétrica brasileira 2022
Fonte: BEN (2023)

3.1.1 Demanda de Energia no Brasil

De acordo com a EPE (2022), o país é o décimo maior consumidor de energia elétrica do mundo, apresentando taxas de variação positivas em relação a 2020 nas regiões Nordeste, Sudeste e Norte. Apresentando queda nas regiões Centro Oeste, com 1,3% e Sul, 0,7%, como demonstrado na Figura 5. Isso se deve pelo rápido crescimento das áreas urbanas e a crescente demanda por aparelhos modernos como aparelhos de ar-condicionado e eletrônicos (EPE, 2022).

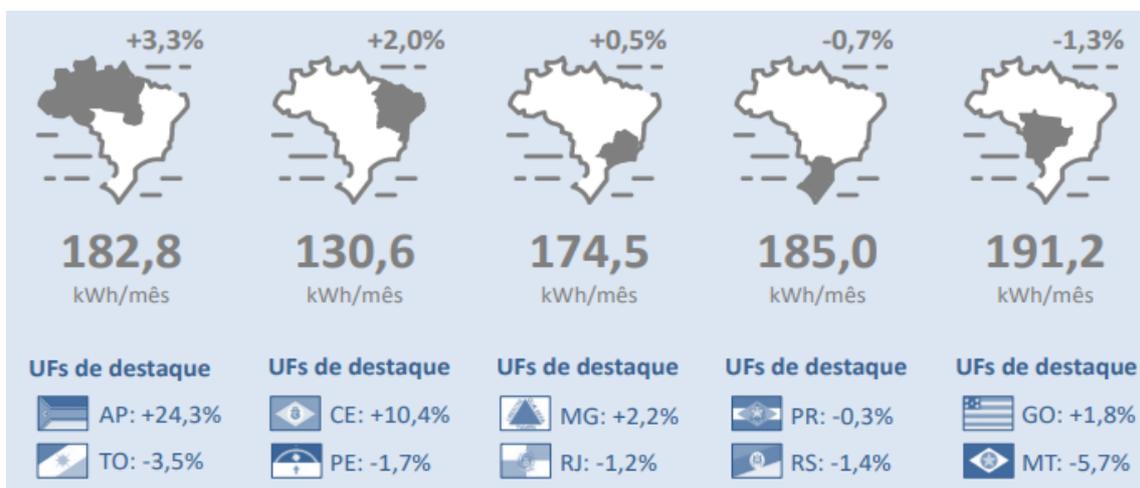


Figura 5 – Consumo de energia elétrica na classe residencial em 2021
Fonte: EPE (2022)

Isso tem levado a um aumento nas contas de energia residencial para indivíduos e famílias em todo o Brasil. As razões para esse aumento variam, mas alguns dos fatores contribuintes incluem ajustes de inflação, aumento dos custos de combustível e desvalorização da moeda brasileira (IBGE, 2023).

Pode-se identificar, na Figura 6, o consumo de energia por pessoa em cada unidade federativa ou região geográfica. Em 2020, na região Sul o consumo per capita de energia elétrica lidera com 816 kWh por pessoa por ano. No entanto, sua população é a 3ª maior entre as cinco regiões do Brasil. Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, encontram-se situações parecidas, com 770 e 816 kWh respectivamente, por habitante e por ano, embora com tamanhos de população distintos. Isso significa uma alta concentração de renda no Centro-Sul favorecendo, nessas regiões, o maior consumo per capita (IBGE, 2022).



Figura 6 – Consumo de eletricidade e intensidade por pessoa no Brasil em 2020
Fonte: IBGE (2022)

3.1.2 Dados específicos

De acordo com estudos realizados pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), em 2023, o consumo de energia elétrica de uma casa típica no Brasil pode variar significativamente, dependendo de diversos fatores como tamanho da residência, número de habitantes e hábitos de consumo. Em média, estima-se que uma família composta por quatro pessoas consuma em torno de 250 kWh por mês (PROCEL, 2023).

Uma casa típica no Brasil é construída com materiais que resistem ao clima quente e úmido do país. Os telhados são muitas vezes feitos de telhas de cerâmica ou chapas metálicas e são ligeiramente inclinados para permitir a drenagem adequada durante as chuvas fortes. Além disso, devido à temperatura quente, muitas casas têm grandes janelas e varandas para permitir uma ventilação adequada (LAMBERTS *et al.*, 2010).

Quanto à Curva de Carga, as residências no Brasil geralmente consomem mais energia no horário de pico, que é entre 18h e 22h, pois é quando as pessoas voltam para casa do trabalho ou da escola. O PROCEL tem ajudado a regular o consumo doméstico de energia ao promover práticas eficientes e sustentáveis, como a instalação de lâmpadas mais eficientes, o uso de aquecedores de água movidos a energia solar e a redução do consumo de energia em *stand by* de aparelhos eletrônicos. Em última análise, a curva de carga típica de uma residência brasileira varia dependendo de vários fatores, como tamanho da família, estilo de vida e presença de fontes alternativas de energia, como painéis solares (GATALDELLO, 2017).

Esse valor pode ser reduzido por meio da adoção de medidas simples como uso consciente dos equipamentos eletrônicos, troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes ou LED, instalação de sistemas de aquecimento solar e microgeração fotovoltaica, entre outras práticas. Dessa forma, a conscientização sobre a importância do uso racional da energia elétrica é fundamental para garantir maior eficiência nos recursos energéticos disponíveis e promover a sustentabilidade ambiental no país (GATALDELLO, 2017).

3.2 Conceito de bairros inteligentes

Smart grids, ou redes elétricas inteligentes, referem-se a sistemas avançados de distribuição de energia elétrica que integram tecnologias de comunicação e controle para melhorar a eficiência, confiabilidade e sustentabilidade do fornecimento de energia, como demonstra Figura 8. Quando aplicadas a bairros inteligentes, as *smart grids* desempenham um papel fundamental na gestão eficiente da energia e na criação de comunidades sustentáveis (SANTO *et al.*, 2015).

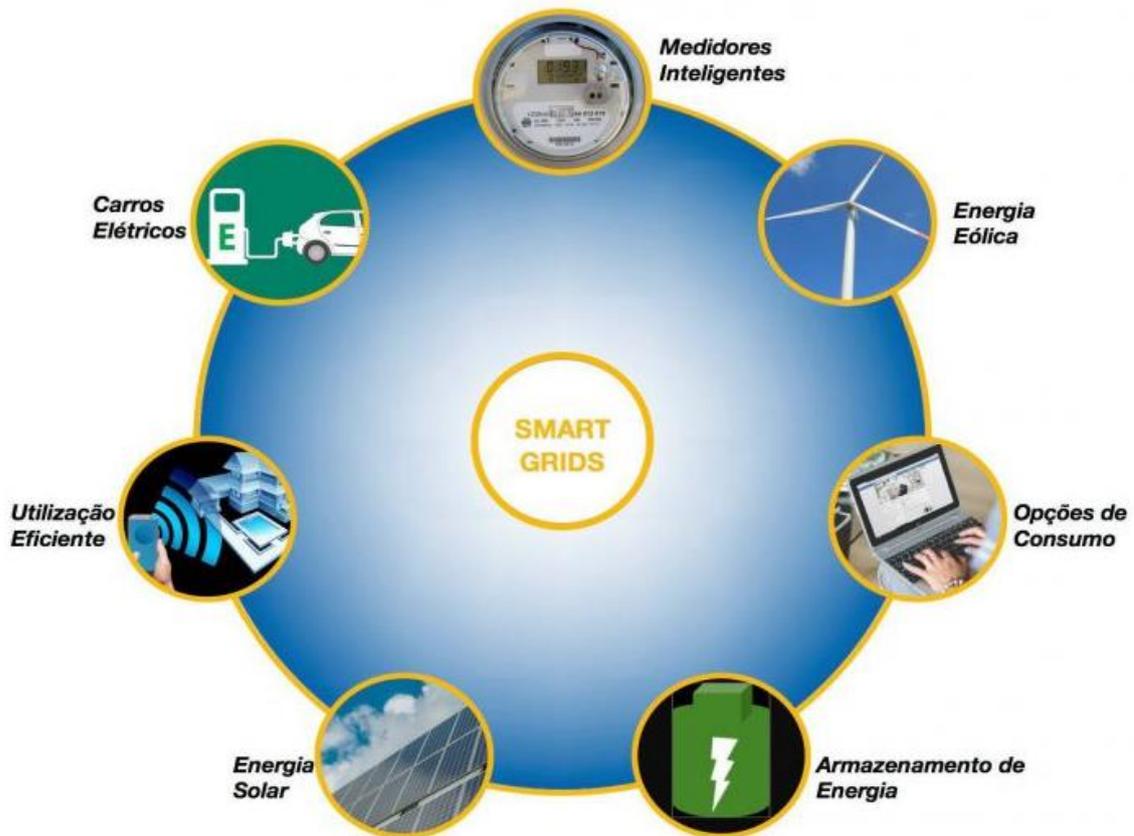


Figura 7 – Smart grids
Fonte: GOMES (2023)

Em um bairro inteligente, várias tecnologias estão integradas para melhorar a qualidade de vida dos moradores e otimizar o uso de recursos. As *smart grids* desempenham um papel importante nesse contexto, permitindo o gerenciamento em tempo real da distribuição de energia elétrica, bem como a integração de fontes de energia renovável e o suporte à adoção de veículos elétricos (PELIELO *et al.*, 2016).

Os itens a seguir apresentam alguns aspectos-chave das *smart grids* aplicadas a bairros inteligentes, segundo Pelielo *et al.* (2016).

3.2.1 Monitoramento e controle avançados

As *smart grids* permitem o monitoramento em tempo real do consumo de energia em cada residência ou edifício no bairro inteligente. Isso fornece informações valiosas sobre os padrões de consumo e permite que os residentes ajustem seus hábitos para reduzir o consumo desnecessário. Além disso, os operadores da rede podem controlar remotamente o fornecimento de energia, otimizando a distribuição e minimizando as perdas (PELIELO *et al.*, 2016).

3.2.2 Integração de fontes de energia renovável

Os bairros inteligentes geralmente têm como objetivo a sustentabilidade e a redução das emissões de carbono. As *smart grids* facilitam a integração de fontes de energia renovável, como painéis solares e turbinas eólicas, na rede elétrica local. Isso permite que o bairro inteligente aproveite ao máximo os recursos disponíveis, reduzindo a dependência de fontes de energia tradicionais e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa (PELIELO *et al.*, 2016).

3.2.3 Armazenamento de energia

A implementação de sistemas de armazenamento de energia, como baterias, é uma parte importante das *smart grids* em bairros inteligentes. Esses sistemas permitem que o excesso de energia gerado a partir de fontes renováveis seja armazenado e usada posteriormente, quando a demanda é maior ou quando não há disponibilidade de energia renovável. O armazenamento de energia suporta a estabilidade da rede e aumenta a confiabilidade do fornecimento (PELIELO *et al.*, 2016).

3.2.4 Gerenciamento de carga e resposta à demanda

As *smart grids* permitem o gerenciamento inteligente da carga de energia no bairro inteligente. Isso envolve a implementação de dispositivos de controle que podem ajustar automaticamente o consumo de energia de certos aparelhos e equipamentos em momentos de

pico de demanda. Além disso, os moradores podem receber informações em tempo real sobre o custo da energia e ajustar seu consumo de acordo, reduzindo assim o uso de energia durante períodos de alta demanda (PELIELO *et al.*, 2016).

3.2.5 Suporte à infraestrutura de veículos elétricos

Os bairros inteligentes geralmente incentivam a adoção de veículos elétricos, que são mais eficientes e ambientalmente amigáveis em comparação com veículos movidos a combustíveis fósseis. As *smart grids* fornecem a infraestrutura necessária para carregar esses veículos de maneira otimizada, levando em consideração fatores como demanda de energia, disponibilidade de energia renovável e tarifas variáveis (PELIELO *et al.*, 2016).

3.3 *Smart grids* no setor residencial

Smart grids no setor residencial são redes de energia elétrica que utilizam tecnologias avançadas, como sensores, medidores inteligentes e sistemas de comunicação, para monitorar e gerenciar o consumo de energia em tempo real, permitindo uma maior eficiência energética e redução de custos (GOMES, 2023).

A utilização dessas tecnologias pode trazer benefícios significativos para os consumidores, como redução de custos, maior eficiência energética e maior confiabilidade do sistema elétrico. Além disso, o uso de *smart grids* pode ajudar a reduzir a emissão de gases de efeito estufa e a promover a transição para uma matriz energética mais sustentável (GOMES, 2023). Entretanto, o desenvolvimento dessas redes ainda possui desafios e incertezas que serão destacados a seguir.

3.3.1 Custos

A implementação de uma *Smart Grid* no setor residencial, segundo Barreto *et al.* (2018), envolve vários custos, que podem variar dependendo do tamanho da área de cobertura, das características da rede elétrica existente e do nível de automação e inteligência desejado. Alguns dos principais custos a serem considerados, de acordo com Barreto *et al.* (2018) são os medidores inteligentes. Estes são peças fundamentais em uma *Smart Grid*. Eles permitem a medição detalhada do consumo de energia em tempo real e a comunicação bidirecional entre a concessionária de energia e o consumidor. O custo dos medidores inteligentes pode variar dependendo do fornecedor e do volume de unidades adquiridas.

Outro custo que requer uma *Smart Grid* é uma infraestrutura de comunicação robusta para permitir a troca de informações entre os medidores inteligentes, os dispositivos de controle da rede e o centro de controle da concessionária. Isso pode incluir o uso de redes de comunicação sem fio, redes de fibra óptica ou outras tecnologias. Os custos associados à infraestrutura de comunicação incluem equipamentos de rede, instalação e manutenção (BARRETO *et al.*, 2018).

Os dados coletados pelos medidores inteligentes e outros dispositivos da *Smart Grid* precisam ser processados e armazenados. Isso requer sistemas de gerenciamento de dados robustos e seguros, que possam lidar com grandes volumes de informações em tempo real. Os custos envolvidos podem incluir o desenvolvimento de software, aquisição de servidores e equipamentos de armazenamento, além dos custos contínuos de manutenção e atualização dos sistemas (BARRETO *et al.*, 2018).

Além dos medidores inteligentes, outros dispositivos e equipamentos podem ser necessários para a implementação da *Smart Grid* no setor residencial. Isso pode incluir sensores de rede, dispositivos de controle de carga, sistemas de armazenamento de energia, entre outros. Os custos variam dependendo da quantidade e da complexidade dos dispositivos adquiridos (BARRETO *et al.*, 2018).

Necessário realizar atualizações na infraestrutura existente para suportar a implementação da *Smart Grid*. Isso pode incluir a substituição ou atualização de transformadores, redes de distribuição e outros componentes da rede elétrica. Os custos envolvidos dependerão do escopo das atualizações necessárias e da extensão da infraestrutura a ser modificada (BARRETO *et al.*, 2018).

É importante ressaltar que os custos específicos para implementar uma *Smart Grid* no setor residencial no Brasil podem variar consideravelmente de acordo com as condições locais e os requisitos do projeto. Além disso, o estágio de desenvolvimento da infraestrutura elétrica existente em uma determinada área também pode impactar os custos. Portanto, é recomendável realizar um estudo detalhado e um planejamento cuidadoso para obter uma estimativa precisa dos custos, além de engajar os usuários, explicitando as vantagens e os motivos da implantação do projeto, antes de iniciar um projeto de implementação da *Smart Grid* no setor residencial (BARRETO *et al.*, 2018).

3.3.2 Incertezas

A instalação de tecnologias de *Smart Grid* no setor residencial no Brasil pode enfrentar várias incertezas. Uma delas é o investimento e financiamento. A implantação de uma *Smart Grid* requer um investimento substancial em infraestrutura e tecnologia. A incerteza em relação ao financiamento adequado para esses projetos pode ser um desafio, pois envolve investimentos de longo prazo e a necessidade de envolver várias partes interessadas, incluindo concessionárias de energia, governos e consumidores (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

Outra incerteza é a integração de diferentes sistemas e dispositivos, como medidores inteligentes, sistemas de automação, comunicação em tempo real e armazenamento de energia. A interoperabilidade desses sistemas pode ser uma incerteza, pois diferentes fabricantes e fornecedores podem ter abordagens técnicas diferentes (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

Ainda, de acordo com Oliveira *et al.* (2022), a coleta massiva de dados em uma *Smart Grid* levanta preocupações sobre a privacidade e a segurança dos dados dos consumidores. A incerteza sobre como proteger esses dados e garantir a confidencialidade das informações pode ser um desafio, especialmente considerando a crescente sofisticação das ameaças cibernéticas.

Segundo Galloti (2021), a aceitação dos consumidores é de grande importância para o sucesso de uma *Smart Grid* residencial. Os consumidores podem ter preocupações em relação à privacidade, segurança, custos e complexidade do sistema. A falta de conscientização e de uma estratégia de engajamento eficaz pode ser uma incerteza na adoção das *Smart grids* pelos consumidores.

O investimento *Smart Grid* requer a modernização da infraestrutura elétrica existente, incluindo a substituição de medidores analógicos por medidores inteligentes e a implementação de redes de comunicação avançadas. A incerteza quanto à capacidade das concessionárias de energia em atualizar e adaptar suas infraestruturas pode ser um desafio significativo (GALLOTTI, 2021).

Por fim, essas são apenas algumas das incertezas que podem surgir durante a instalação de uma *Smart Grid* no setor residencial no Brasil. A superação desses desafios requer colaboração entre as partes interessadas, esforços regulatórios claros e uma estratégia abrangente de conscientização e engajamento dos consumidores (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

3.3.3 *Smart metering*

Smart Metering, também conhecido como medidor inteligente ou medidor digital, é um dispositivo eletrônico avançado que registra o consumo de energia elétrica de forma precisa e permite a comunicação bidirecional entre o medidor e a concessionária de energia. Essa tecnologia é uma evolução dos tradicionais medidores eletromecânicos, fornecendo informações detalhadas sobre o consumo de energia em tempo real (MORETTO, 2022).

Os medidores inteligentes têm a capacidade de medir e transmitir dados de consumo em intervalos regulares, geralmente a cada hora, diretamente para a concessionária de energia. Essa comunicação em tempo real permite uma gestão mais eficiente do fornecimento de energia, além de fornecer aos consumidores informações mais detalhadas sobre seu consumo, permitindo que eles façam escolhas mais conscientes em relação ao uso da energia elétrica (MORETTO, 2022).

Quanto ao consumo de cada eletrodoméstico por hora no Brasil, conforme Moretto (2022), destaca-se que os valores podem variar dependendo do modelo específico do eletrodoméstico, da eficiência energética, do tempo de uso e de outros fatores.

No entanto, é possível estimar o consumo médio por hora de alguns eletrodomésticos como, o ar condicionado (janela ou *Split*), entre 1.000 e 2.400 watts, dependendo da capacidade e do ajuste de temperatura; a geladeira, entre 100 e 400 watts; o televisor entre 50 e 200 watts, dependendo do tamanho e tecnologia; o computador *desktop*, entre 80 e 250 watts; a máquina de lavar roupas, entre 300 e 1.500 watts; o ferro de passar, entre 1.000 e 2.500 watts, e o chuveiro elétrico, entre 3.000 e 5000 watts (MORETTO, 2022).

Esses valores são apenas estimativas e podem variar dependendo das especificações técnicas dos aparelhos. Portanto, para obter um entendimento mais preciso, é sempre importante levar essas especificações em consideração ao analisar qualquer dado ou informação apresentados (MORETTO, 2022).



Figura 8 – Medidor inteligente
Fonte: Smart Grid/UFRJ (2016)

3.4 Exemplos de iniciativas de bairros com Smart Grid no mundo

As tecnologias de *Smart Grid* utilizam tecnologias avançadas para regular a oferta e a demanda de eletricidade. Com sua capacidade de monitorar, analisar e controlar a utilização de energia em tempo real, a rede inteligente transformou a rede de distribuição elétrica do mundo (GALLOTI, 2021).

Ela trouxe eficiências significativas no consumo de energia e custos reduzidos, ao mesmo tempo em que melhorou a confiabilidade, a segurança e a sustentabilidade. A implementação de redes inteligentes em todo o mundo foi acelerada por políticas e incentivos governamentais inovadores destinados a promover a economia (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

As empresas locais também desempenharam um papel crítico no desenvolvimento desses sistemas em todo o mundo, com os principais participantes da Europa, América do Norte e Ásia. À medida que a tecnologia avança, continuará a aprimorar ainda mais o desempenho da infraestrutura de rede inteligente para atender às diversas necessidades futuras de energia (GALLOTI, 2021).

Nos últimos tempos, várias questões levaram a um novo paradigma para as redes elétricas que já são mundialmente reconhecidas como *Smart grids*. Os principais fatores foram: a crescente participação de fontes renováveis que estão continuamente conectadas ao sistema; maior demanda por melhor qualidade e confiabilidade de energia; a transição atual de uma

grade distribuída passiva para uma ativa; a disponibilidade de novos sistemas de comunicação confiáveis; o desenvolvimento de um mercado de eletricidade desregulado onde usuários clássicos de eletricidade tornam-se clientes de energia que precisam de informações para gerir adequadamente as suas necessidades energéticas e quem podem ser provedores de serviços de rede (BARSALI *et al.*, 2015).

3.4.1 *Smart Grids* na França

Um número crescente de diferentes tipos de fontes distribuídas, está sendo continuamente instalados em áreas residenciais e industriais em todo o mundo. Em muitos casos, esses sistemas são operados sem considerar sua interação com o restante do sistema e até com as demais fontes e cargas conectadas na mesma rede local (BARSALI *et al.*, 2015).

O cenário elétrico na França está em profunda mutação. A produção elétrica está mudando, passando de um pequeno número de plantas de produção com alta energia elétrica para muitas unidades de produção, cada uma entregando uma pequena energia elétrica (DAVID *et al.*, 2018).

3.4.2 *Smart Grids* nos Estados Unidos

Do ponto de vista jurídico, segundo David *et al.* (2018), já é possível desde 2017, reunir consumidores e produtores em uma rede local privada chamada *microgrid*. Em tais micro redes, os consumidores usam a eletricidade gerada pelos produtores pertencentes a esta micro rede. A única troca elétrica entre uma micro rede e o exterior é o necessário para obter o equilíbrio entre consumo e produção de toda a rede.

O desenvolvimento dos Estados Unidos e da Europa para o futuro desenvolvimento de redes inteligentes é chamado de *Smart Grid* em publicações de políticas. Desde 2004, esforços estão sendo focados pela indústria e pesquisadores para harmonizar e desenvolver sinergias para esse conceito. À medida que surgem desenvolvimentos em direção à implementação em larga escala nos próximos anos, outros países procurarão incorporar essas tecnologias à infraestrutura do sistema de energia elétrica de seu país (NAIR e ZHANG, 2009).

3.4.3 *Smart Grids* na Nova Zelândia

O documento da Estratégia Energética da Nova Zelândia (NZES) prevê alcançar 90% da geração de eletricidade até 2025 a partir de fontes renováveis geração. Para apoiar a crescente geração de eletricidade e projeções de carga, decisões para novos investimentos na rede em ativos de transmissão e distribuição estão ocorrendo (BARSALI *et al.*, 2015).

3.4.1 *Smart Grids* na Europa

Durante os últimos dois anos, a parceria de universidades e operadores industriais desenvolveu um projeto de pesquisa (denominado “*Smart Grid Navicelli*” ou simplesmente Navicelli) financiado pela região da Toscana, com foco na aplicação de ferramentas de gestão otimizadas para um distrito industrial com diferentes tipos de geradores (eólico, fotovoltaico, calor e energia combinados (CHP)) em conjunto com a instalação de acumuladores elétricos e térmicos (BARSALI *et al.*, 2015).

Esse projeto envolveu um distrito industrial que abriga estaleiros edifícios comerciais e de escritórios, um sistema de armazenamento inovador instalados na rede de MT (média tensão) dentro de uma grande usina fotovoltaica. Dois sistemas de armazenamento faziam parte do projeto: um grande sistema de 1 MW conectados na rede de MT em paralelo a um sistema fotovoltaico e um pequeno sistema de 15 kW conectado ao barramento de BT (baixa tensão) de um usuário inteligente (BARSALI *et al.*, 2015).

O primeiro sistema de armazenamento foi instalado com o objetivo de melhorar a integração da grande usina fotovoltaica de 3,7 MW e fornecer a rede com serviços de regulamentação. As baterias de lítio foram adotadas como, pois, são capazes de fornecer grandes quantidades de energia com relativamente pequena quantidade de energia (BARSALI *et al.*, 2015).

O sistema foi projetado e construído para um conversor com potência de 1 MVA (composta por três módulos de 250 kVA, com pico 350 kVA). O armazenamento é capaz de fornecer 1 MW por 8 s. Quantidades mais baixas de potência real podem ser fornecidas por períodos mais longos. A potência reativa pode ser sempre entregue até a capacidade máxima do conversor, dependendo da demanda real de energia, como demonstra Figura 9 (BARSALI *et al.*, 2015).

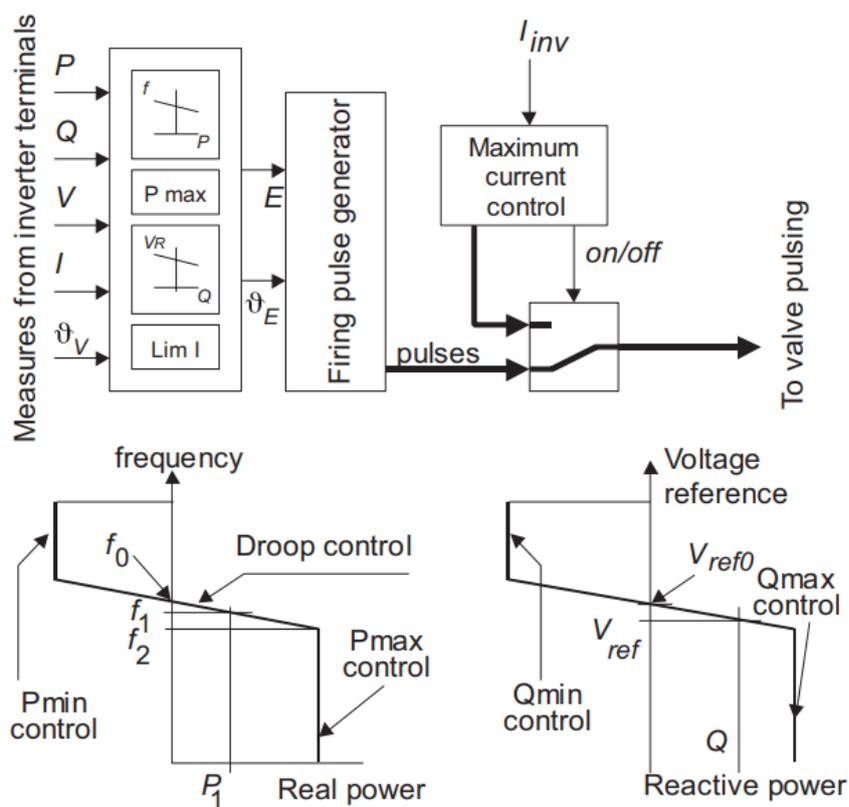


Figura 9 – Esquema principal de controle de queda
 Fonte: Barsali *et al.* (2015)

Segundo Barsali *et al.* (2015), o sistema também é capaz de realizar filtragem ativa de harmônicos até a 11ª ordem na seção de interface da grade. Esta função não pôde ser testada nesta fase da aplicação, pois o único usuário-fonte conectado a jusante do inversor é o 3,7 MW. Para torná-lo capaz de operar, tanto em paralelo à rede quanto em um sistema autônomo fornecido pelas fontes locais, um poder real contra frequência e potência reativa contra controle de queda de tensão foi projetado e implementado como apresentado na Figura 10.



Figura 10 – Imagem do inversor e recipiente de armazenamento
 Fonte: Barsali *et al.* (2015)

3.5 Exemplos de iniciativas de bairros com Smart Grid no Brasil

A nova geração de redes elétricas projetadas para serem mais eficientes e sustentáveis, usam tecnologia digital e análise de dados em tempo real. Um problema em tornar as redes inteligentes mais comuns no Brasil é que o custo para as instalar ainda é alto (DANTAS *et al.*, 2018).

Cidades inteligentes, ainda segundo Dantas *et al.* (2018), usam redes inteligentes para otimizar semáforos, iluminação pública, segurança, abastecimento de água e gás e comunicação. Entretanto, antes de começar a construir, é necessário fazer alguns testes para garantir que tudo funcione corretamente.

O bairro do Barreiro, em Belo Horizonte, por exemplo, vem trabalhando na implantação de um sistema Smart Grid para melhorar a eficiência energética e reduzir custos. Enquanto isso, o bairro Morada da Colina, em São Paulo, firmou parceria com a empresa de energia CPFL para instalar medidores inteligentes e monitorar o consumo de eletricidade em tempo real. E em Porto Alegre, a associação de moradores da Lomba do Pinheiro vem experimentando painéis solares e micro redes para gerar sua própria energia renovável. Esses são apenas alguns exemplos de como as comunidades brasileiras estão assumindo o controle de seu uso de energia e avançando em direção a um futuro mais sustentável (DANTAS *et al.*, 2018).

3.6 Regulamentação de *Smart grids* no Brasil

Publicada em abril de 2012, por meio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Resolução Normativa 482/2012, regulamentou a geração distribuída de energia, definindo o sistema de compensação, conhecido internacionalmente como *net metering*, em que a energia ativa injetada na rede por uma unidade distribuidora é cedida à distribuidora e posteriormente compensada com o consumo de energia (CABELLO e POMPERMAYER, 2013).

Este esquema também incentiva o desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos em outros países da América Latina. Se a geração de energia for maior que o consumo, ao final do mês, o crédito de energia, chamado de saldo restante, pode ser usado como abatimento do consumo em algum mês subsequente, restando ao usuário somente o pagamento da tarifa básica (30 kWh para instalações monofásicas, 50 kWh para bifásicas e 100 kWh para trifásicas). Caso o

consumo seja maior que a geração de energia, o consumidor paga a diferença entre a energia total consumida e a gerada (DANTAS e POMPERMEYER, 2018).

Diversos são os benefícios que a geração distribuída apresenta ao sistema elétrico, tais como a redução de cargas na rede elétrica, diminuição do impacto ambiental, diminuição das perdas e matriz energética diversificada. Especialistas preveem que, com investimentos contínuos e políticas favoráveis, o Brasil pode se tornar uma das nações líderes na produção de energia solar nos próximos anos.

Diante desse contexto, esse valor ainda é bem menor que os países líderes do *ranking* de produção, como China, Alemanha e Estados Unidos. Em 2016, foram registradas mais de 3,5 mil novas conexões de sistemas fotovoltaicos, apontado o Brasil como entre os dez maiores produtores de energia solar em 2022 (2018).

A Resolução Normativa 687/2015, publicada pela ANEEL, acrescentou alguns benefícios aos micros geradores de energia. Uma delas é a possibilidade de geração distribuída conjunta, ou seja, a energia gerada pode ser distribuída entre várias residências, respeitando a mesma área de concessão. Somando-se a isso, a validade dos créditos de energia passou de 36 para 60 meses, aumentando a potência máxima de geração por unidade de 1 MW para 5 MW e simplificou o processo de adesão para conectar a geração distribuída à rede de distribuição. Dessa forma, a resolução normativa contribuiu para o crescimento no número de instalações de sistemas fotovoltaicos (CANADIAN SOLAR, 2016).

Outro marco importante foi a Lei 14.300/2021 que dispõe uma nova estrutura regulatória para o segmento de geração distribuída, que inclui todos os geradores de energia renovável que não excedam 5 MW de tamanho operando sob um regime de medição líquida. Atualmente, o segmento responde por mais de 8,4 GW dos 13 GW de capacidade instalada de energia solar conectada à rede no Brasil (NEVES, 2022).

As novas regras introduzirão um novo regime de *net metering* a partir de 2023. No entanto, essas taxas de rede ainda garantirão um nível razoável de rentabilidade para os consumidores brasileiros, e serão aumentadas gradativamente ao longo dos anos. Segundo Neves (2022), as novas regras vão garantir a segurança jurídica ao manter o esquema de medição líquida até 2045.

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e o órgão regulador de energia, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelecerão novas diretrizes, custos e benefícios da geração distribuída a ser implementada após o período de transição (BRASIL, 2023).

De acordo com Casarin (2022), as regras brasileiras a serem estipuladas após o período de transição, com base nas diretrizes do CNPE e nos cálculos da ANEEL, terão um impacto positivo na continuidade do crescimento dos sistemas de geração distribuída no Brasil. Além disso, os níveis de remuneração mais baixos para tarifas de *net metering* podem aumentar o tempo de retorno de um sistema fotovoltaico residencial em apenas seis meses, de acordo com a agência (CASARIN, 2022).

Por mais de 10 anos, conforme Neves (2022), as regras brasileiras permitiram a compensação integral dos créditos de energia da geração renovável distribuída. Quando se compara as novas regras brasileiras com as boas práticas internacionais, o Brasil está bem posicionado para apoiar ainda mais seu segmento de geração distribuída.

4 . CENÁRIOS ENERGÉTICOS PARA O DISTRITO DE PARACATU DE BAIXO

4.1 Objeto de estudo (Cenários)

O estudo foi feito a partir da ideia de planejar o consumo de energia elétrica do distrito de Paracatu de Baixo em Mariana – MG reconstruído por uma construtora brasileira, em decorrência do rompimento de uma barragem de rejeito, responsável pela construção de 32 casas de alto padrão que são o objeto de estudo deste trabalho.

Para isso foi usada a curva de carga como referência. Uma curva de carga é uma análise detalhada do consumo ou demanda de energia elétrica ao longo do tempo em um determinado local. Essa curva é, muitas vezes, utilizada como uma ferramenta essencial para planejar e operar sistemas de distribuição de energia elétrica de maneira eficiente e confiável (LEAL, 2006).

Por meio da medição precisa da demanda de energia em intervalos regulares durante um período específico, geralmente em horas ou em minutos, é possível obter informações valiosas sobre os padrões de uso e as variações sazonais das cargas elétricas. Isso permite que as empresas identifiquem momentos de maior consumo, permitindo o dimensionamento adequado da infraestrutura necessária para suprir a demanda, evitando interrupções no fornecimento e custos desnecessários com ampliação excessiva da capacidade instalada. Além disso, a análise dessas curvas também auxilia na previsão futura das necessidades do sistema energético e na implementação estratégica de medidas para incentivar a eficiência energética (LEAL, 2006).

Dessa forma, como as casas ainda estão em construção, foi utilizada como base, a curva de carga retirada de uma tese de doutorado, apresentada na Figura 11.

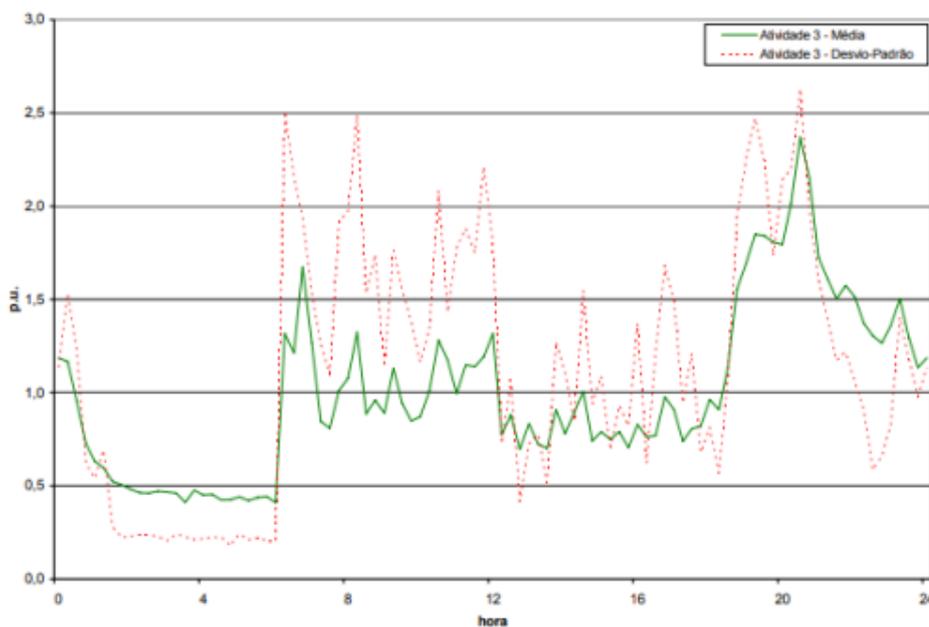


Figura 11 – Curva de carga residencial – (401 a 500) kWh / mês
 Fonte: Leal (2006)

Para a modelagem, foram elaborados três cenários a partir do cenário de referência, que retrata o diagnóstico encontrado para casas de alto padrão atualmente, seguindo a curva de carga na Figura 11, considerando apenas o consumo das 32 casas a partir do abastecimento feito apenas pela rede elétrica convencional.

No Cenário Alternativo 1, foram utilizadas placas fotovoltaicas no reassentamento considerando o consumo de energia no Cenário Referência. Já no Cenário Alternativo 2, buscou-se reduzir o consumo a partir da eliminação do chuveiro elétrico, instalando aquecedores solares de água nas casas. No Cenário Alternativo 3, buscou-se reduzir o consumo unindo os 2 cenários anteriores.

4.1.1 Premissas básicas para os cenários

No Brasil, as bandeiras tarifárias de energia elétrica são um mecanismo regulatório implementado pela ANEEL que visa informar e conscientizar os consumidores sobre as condições de geração de energia elétrica no país. O sistema funciona através da aplicação de diferentes cores de bandeiras - verde, amarela e vermelha - que indicam o nível atual dos custos para geração de energia (DIAS, 2015).

Segundo Alves (2022), a bandeira verde significa que não há nenhum acréscimo na tarifa, enquanto a amarela representa um acréscimo moderado e a vermelha indica um acréscimo mais significativo. Essas bandeiras são atualizadas mensalmente com base em

fatores como disponibilidade hídrica, custo das térmicas, variabilidade climática e consumo de energia. Além disso, visam incentivar os consumidores a adotarem práticas mais eficientes no uso da energia elétrica, além de contribuírem para compensar os custos adicionais gerados por diferentes condições específicas do setor elétrico brasileiro.

Existem dois grandes grupos no que diz respeito às modalidades tarifárias no Brasil, o Grupo A (consumidores de alta tensão) e o Grupo B (consumidores de baixa tensão). O Grupo A engloba indústrias, grandes comércios e prestadores de serviço de grande porte. Para esses consumidores, a cobrança da energia elétrica é baseada em dois componentes: demanda contratada, ou seja, a potência que o cliente solicitou à concessionária para suportar suas atividades; e consumo efetivo, que representa a quantidade real de energia utilizada durante um determinado período. Já para o Grupo B estão inclusos pequenos comércios, residências e outros estabelecimentos de menor porte. Nesse caso, a cobrança é feita apenas sobre o consumo efetivo de energia elétrica durante um mês específico (DIAS, 2015).

De acordo com a Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG), concessionária distribuidora da energia na região, o valor consumido no setor residencial em 2023 é de R\$ 0,75 por KWh - B1 residência normal bandeira verde 1.

Além disso, serão apresentadas nas figuras a seguir, telas do software Homer PRO acompanhadas de tabelas, onde foram pré-estabelecidos valores para a elaboração dos cenários, vale ressaltar que esses parâmetros foram baseados na atualidade, existe a grande possibilidade de variação desses dados ao longo do projeto, com isso, é importante que seja feita uma análise anual dos valores no decorrer dos anos. Estão apresentados a seguir parâmetros como características dos aparelhos; a taxa de desconto; taxa de inflação; tempo de projeto; tempo de vida da placa fotovoltaica e tempo de vida do inversor.

Tabela 1 – Premissas básicas

PREMISSAS BÁSICAS	
TAXA DE DESCONTO	13,75% a.a
INFLAÇÃO	3% a.a
TEMPO DO PROJETO	20 anos
VALOR (R\$/KWh)	R\$ 0,75

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

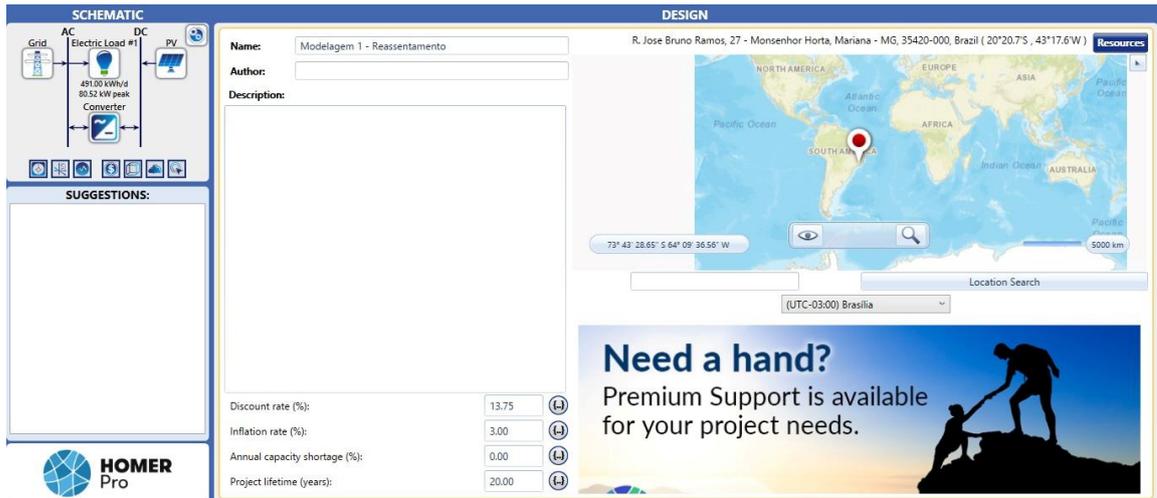


Figura 12 – Taxa de desconto; inflação; tempo do projeto e localização
 Fonte: Homer Pro - adaptado pelo autor (2023)

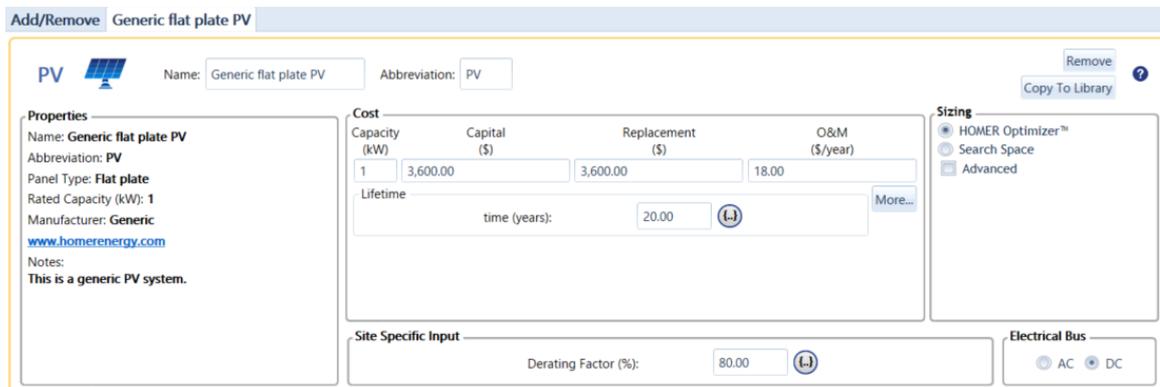


Figura 13 – Dados das placas fotovoltaicas
 Fonte: Homer Pro – adaptado pelo autor (2023)

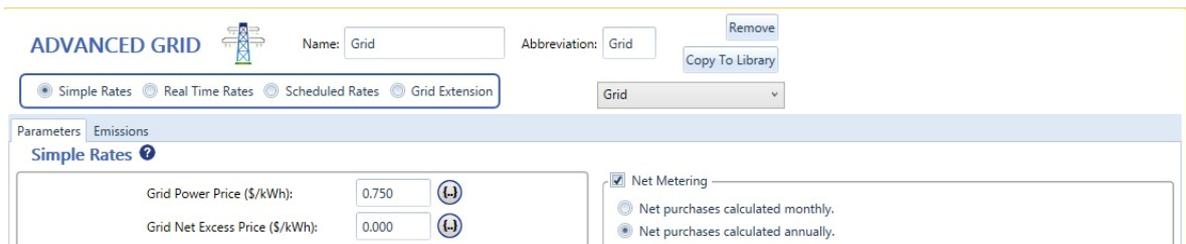


Figura 14 – Dados da rede e Dados do inversor
 Fonte: Homer Pro – adaptado pelo autor (2023)

Conforme dados da placa fotovoltaica, Figura 13, para o cálculo de cada cenário, também foi utilizado a informação do nível de insolação no distrito, fornecido pelo próprio modelo energético, tal qual descrito na Figura 15.

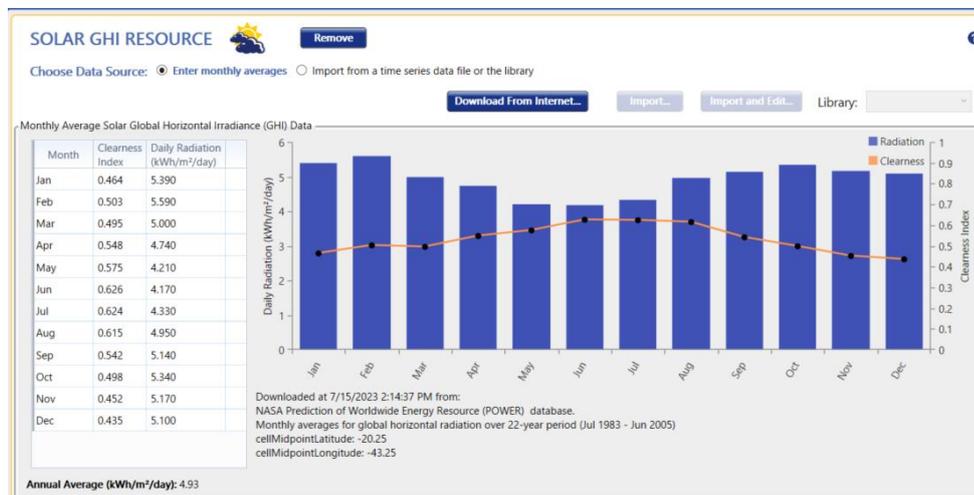


Figura 15 – Recurso de energia solar em Mariana
Fonte: Homer Pro – adaptado pelo autor (2023)

Ainda foi utilizada a taxa *Derating Factor* de 80%, 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 dos componentes usados para captação e conversão da energia solar e aquecimento solar da água, a Tabela 2 descreve o aparelho e sua respectiva, potência, valor e custo de manutenção, sendo este, considerado 0,5 % do valor total do aparelho.

Tabela 2 - Aparelhos e respectivas potências

APARELHO	POTENCIA (kW)	VALOR	CUSTO DE MANUTENÇÃO/ANO
PLACA FOTOVOLTAICA	1	R\$ 3.600,00	R\$ 18,00
INVERSOR SOLAR ONGRID	1	R\$ 1.000,00	R\$ 5,00
AQUECEDOR DE ÁGUA SOLAR EXTERNO	-	R\$ 2.800,00	R\$ 14,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Os equipamentos eletrônicos utilizados nas residências estão listados na Tabela 3. É importante ressaltar que, deve-se 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, além de ser uma estimativa, porém seguindo as quantidades para uma casa com no mínimo 5 pessoas.

Tabela 3 – Aparelhos eletrônicos e potências

APARELHOS	QUANTIDADE	POTÊNCIA (kW)
GELADEIRA	1	0,100
MÁQUINA DE LAVAR	2	0,700
CHUVEIRO	5	6,000
TV	2	0,100
COMPUTADOR	6	0,100
SOM	2	0,200
LÂMPADAS	20	0,010
DEMAIS ELETRÔNICOS	1	0,300

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

4.1.2 Cenário de referência

Foi definida então a curva de carga para o cenário referência, a partir das informações descritas anteriormente, a cada hora ao longo de um dia, como apresenta a Figura 16.

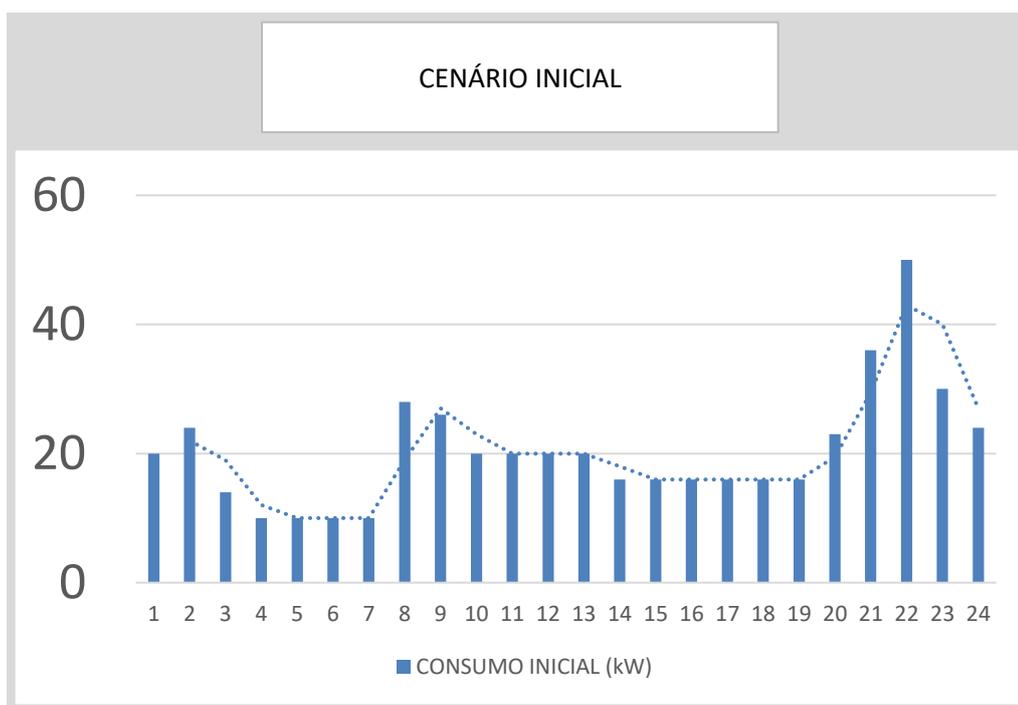


Figura 16 – Curva de carga

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Tabela 4 – Curva de carga inicial e Curva de carga para 32 casas

CURVA DE CARGA PARA 1 CASA (1 DIA)		CURVA DE CARGA PARA 32 CASAS (1 DIA)	
HORA	kW	HORA	kW
0	0,625	0	20
1	0,75	1	24
2	0,4375	2	14
3	0,3125	3	10
4	0,3125	4	10
5	0,3125	5	10
6	0,3125	6	10
7	0,875	7	28
8	0,8125	8	26
9	0,625	9	20
10	0,625	10	20
11	0,625	11	20
12	0,625	12	20
13	0,5	13	16
14	0,5	14	16
15	0,5	15	16
16	0,5	16	16
17	0,5	17	16
18	0,5	18	16
19	0,71875	19	23
20	1,125	20	36
21	1,5625	21	50
22	0,9375	22	30
23	0,75	23	24
TOTAL	15,344	TOTAL	491

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Os dados na Tabela 5, serviram de base para a curva de carga feita para as 32 casas, conforme apresenta a Figura 16, da curva de carga inicial.

A partir das configurações do cenário de referência, foram configuradas também os equipamentos apresentados no início do capítulo, para a modelagem do primeiro cenário, que possui os resultados apresentados a seguir.

4.1.3 Cenário alternativo 1 – PV

A partir do que foi configurado, para o nosso primeiro cenário, obtivemos os seguintes resultados, apresentados na Figura 17

Architecture						Cost			
	PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	
	125	999,999	92.3	CC	\$578,822	\$0.243	\$4,324	\$543,084	
		999,999		CC	\$1.11M	\$0.750	\$134,411	\$0.00	

Figura 17 – Dados para econômicos
Fonte: Homer Pro – adaptado pelo autor (2023)

Metric	Value
Present worth (\$)	\$532,185
Annual worth (\$/yr)	\$64,384
Return on investment (%)	18.9
Internal rate of return (%)	23.8
Simple payback (yr)	4.13
Discounted payback (yr)	5.69

Figura 18 – Dados para payback
Fonte: Homer Pro – adaptado pelo autor (2023)

É possível constatar que seriam necessárias 500 placas fotovoltaicas (considerando 1 placa produzindo 250W) e 1 conversor com capacidade de 92.3kW, tendo um valor de investimento de R\$ 543.084,00 para o abastecimento das 32 residências. 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 cenário, observa-se que o VPL é de R\$ 578.822,00; uma redução de 47,85% se comparado ao valor de R\$ 1,11 mi, empregado a energia apenas fornecida pela rede existente. Já o *payback* é a indicação de quanto tempo levaria para o retorno financeiro do investimento entre o sistema atual e o sistema proposto, neste caso seria de aproximadamente 5 anos.

CENÁRIOS	CO2 (kg/yr)
CENÁRIO REFERENCIA	113.264
CENÁRIO 1	68.960

Fonte: adaptado pelo autor

Figura 19 – Comparativo emissão CO2 por ano

A utilização das placas fotovoltaicas, implicariam numa diminuição de 39,12% nas emissões de CO₂ por ano. O reassentamento pode também buscar outras alternativas para diminuir ainda mais as emissões, através de reflorestamento. Além de seu objetivo principal de fornecer novas casas e meios de subsistência para as populações deslocadas, também pode explorar estratégias alternativas para reduzir ainda mais as emissões. Além disso, a ideia seria de dividir as 500 placas fotovoltaicas nas casas, fazendo com que cada imóvel tenha aproximadamente 16 placas.

Dessa forma, ao incorporar práticas sustentáveis no planejamento e execução de projetos de reassentamento, como a promoção de projetos de construção energeticamente eficientes e fontes de energia renováveis, torna-se possível mitigar o impacto ambiental associado ao deslocamento. Enfatizar sistemas de transporte ecologicamente corretos e adotar tecnologias de baixo carbono nessas comunidades recém-estabelecidas pode contribuir significativamente para reduzir as emissões geradas por deslocamentos diários e outras atividades (ALVES, 2022).

4.1.4 Cenário alternativo 2 – Aquecedores solares para água

Para esse cenário, consideramos, com base no artigo de Rutter e Napolini (2017), sobre os impactos dos sistemas de aquecimento solar doméstico de água no custo de banho quente em residências populares no Brasil, onde os autores apresentam um método para avaliar, sob a ótica da distribuidora, os impactos da adoção de sistemas de aquecimento solar doméstico de água no Brasil, com base em medições de demanda.

Realizado em dois grupos de domicílios residenciais, conclui-se que a conta de energia pode diminuir em até 40%, sendo assim, considera-se uma nova curva de carga, conforme apresentadas nos dados da tabela 5.

Tabela 5– Curva de carga inicial e Curva de carga em 32 casas

CURVA DE CARGA - 1 CASA (AGUA AQUECIDA PELO SOL - DIMINUIÇÃO 40%)		CURVA DE CARGA 32 CASAS (AGUA AQUECIDA PELO SOL - DIMINUIÇÃO 40%)	
HORA	kW	HORA	kW
0	0,375	0	16
1	0,45	1	18
2	0,2625	2	14
3	0,1875	3	10
4	0,1875	4	10
5	0,1875	5	10
6	0,1875	6	10
7	0,525	7	10
8	0,4875	8	10
9	0,375	9	15
10	0,375	10	10
11	0,375	11	10
12	0,375	12	15
13	0,3	13	13
14	0,3	14	12
15	0,3	15	11
16	0,3	16	10
17	0,3	17	10
18	0,3	18	13
19	0,43125	19	16
20	0,675	20	15
21	0,9375	21	14
22	0,5625	22	12
23	0,45	23	10
TOTAL	9,2	TOTAL	294

Fonte: adaptada pelo autor (2023)

A partir dos dados anteriores, considerando a diminuição de 40% do consumo de energia com a utilização de aquecedor de água solar, tem-se a seguinte curva de carga, conforme figura 20.

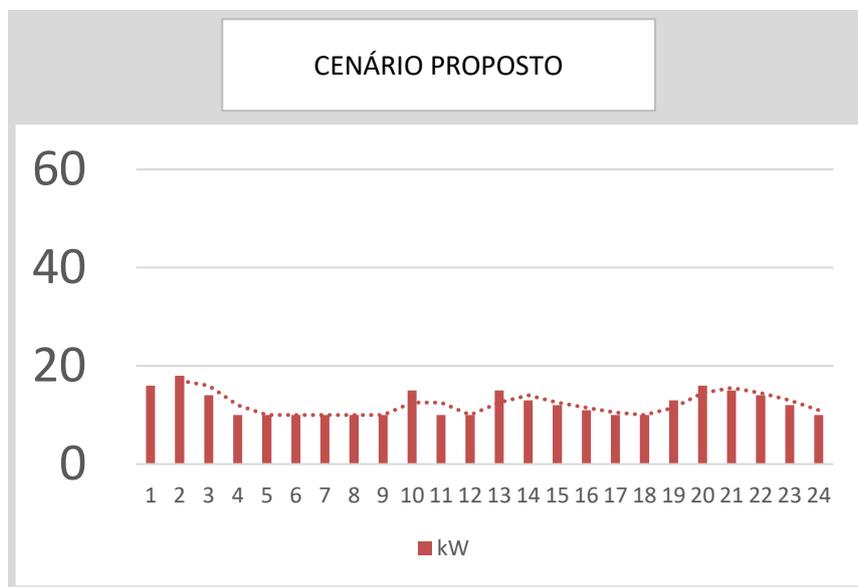


Figura 20 – Curva de carga/cenário
 Fonte: adaptada pelo autor (2023)

Para esse cenário será utilizada a rede convencional com a instalação dos aquecedores de água solar, portanto apresenta os seguintes resultados.

Figura 21 – Dados econômicos
 Fonte: adaptada pelo autor (2023)

PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)
	999,999		CC	\$665,247	\$0.750	\$80,483

CENÁRIO	CO2 (kg/ano)
Cenário 2	67.820

Figura 22 – Emissão de CO2 por ano
 Fonte: adaptada pelo autor (2023)

A esse NPC, deverá ser acrescentado o valor da instalação dos equipamentos de aquecimento de água solar, como apresentados na tabela x (tabela aparelhos), e considerando que cada residência terá 1 equipamento, temos que o valor total do investimento mais custos de operação e manutenção seria de R\$ 98.560,00; portanto nesse cenário o VPL seria de R\$ 665.247,00. E a emissão de carbono por ano seria de 67.820 kg. Considerando, que no cenário anterior, com o investimento das placas fotovoltaicas, tivemos 5 anos para o *payback*, sendo assim, para o valor investido nos aquecedores, o retorno em aproximadamente 2 anos (1,65 anos).

4.1.5 Cenário Alternativo 3 – placas solares e aquecedor solar de água

Para esse cenário, consideramos juntar os dois cenários propostos, utilizando, portanto, a curva de carga do cenário 2, onde os chuveiros não serão elétricos.

	PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)
		999,999		CC	\$665,247	\$0.750	\$80,483	\$0.00
	1.54	999,999	0,245	CC	\$665,780	\$0.751	\$79,848	\$5,776

Figura 23 – Cenário alternativo 3
Fonte: adaptado pelo autor (2023)

É possível constatar que seriam necessárias 7 placas fotovoltaicas (considerando 1 placa produzindo 250W) e 1 conversor com capacidade de 0,245 kW, tendo um valor de investimento de R\$ 104.336,00 considerando a instalação dos aquecedores de água solar e as placas fotovoltaicas e seu custo de manutenção, para o abastecimento das 32 residências. Nesse cenário, o VPL seria de R\$ 665.780,00; com a mesma emissão de carbono anual e *payback* do cenário 2: 67.820 kg por ano e 2 anos.

4.1.6 Comparativo entre os cenários



Figura 24 – Curvas de carga
Fonte: adaptada pelo autor (2023)

Tabela 6 – Comparação entre os cenários

	VPL (VALOR PRESENTE LIQUIDO)	INVESTIMENTO/MANUTENÇÃO	CO2 (kg/yr)	PAYBACK (aprox.)
CENÁRIO REFERENCIA	R\$ 1.110.000,00	-	113.264	-
CENÁRIO 1 - PV	R\$ 578.822,00	R\$ 543.084,00	68.960	5 anos
CENÁRIO 2 - AQUECEDOR DE ÁGUA SOLAR	R\$ 665.247,00	R\$ 98.560,00	67.820	2 anos
CENÁRIO 3 - AQUECEDOR DE ÁGUA SOLAR + PV	R\$ 665.780,00	R\$ 104.336,00	67.820	2 anos

Fonte: adaptada pelo autor (2023)

Vale destacar nesse comparativo, a redução considerável na emissão de CO₂ por ano, considerando que cada um dos cenários propostos emita aproximadamente 70 mil kg por ano, teríamos uma redução em comparação com o Cenário de Referência, de 43.264 kg por ano. Segundo estudo realizado pelo Instituto Totum e pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), em parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica, cada árvore da Mata Atlântica, ao longo de seus 20 primeiros anos, absorve 163,14 kg de gás carbônico (CO₂) equivalente. A partir disso, conseguimos concluir que em 1 ano, uma árvore absorve cerca de 8,157 kg, fazendo o comparativo com a emissão de kg por ano que a aplicação dos cenários evitaria, temos o equivalente ao trabalho de 5304 árvores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, retrata o diagnóstico para o consumo de energia no Reassentamento em construção. Foram considerados aspectos técnico econômicos do sistema energético do distrito, bem como os recursos necessários para utilização de cada cenário, buscando melhorar o cenário de referência.

Por meio da análise dos cenários, conseguimos elencar os componentes a serem utilizados, de forma mais sustentável e mais barata, como por exemplo, o uso de placas solares para geração distribuída e o aquecimento solar da água, o planejamento energético integrado auxilia na tomada de decisões.

O reassentamento recebe energia através da CEMIG, tendo uma população bem menor do que a cidade de Mariana. Foram elaborados 3 cenários baseados no Cenário de referência, destacando algumas informações como o Valor Presente Líquido (NPC) e a pegada de carbono, buscando a redução de gases de efeito estufa no ecossistema.

Com base nos dados obtidos, mostra-se que o cenário que melhor proporciona a redução no valor presente líquido é o Cenário 1, que é composto pela ideia da instalação de placas fotovoltaicas para alimentar as 32 casas do estudo, podendo ser feita através da instalação em cada imóvel ou na construção de uma fazenda para abastecimento, o cenário 2 tem um *payback* mais rápido, porém seu VPL ao longo do projeto, tem um valor maior se comparado a instalação das placas fotovoltaicas, o Cenário 3 tem o maior VPL, então será descartado.

Em relação as emissões de dióxido de carbono através do sistema energético, temos valores muito próximos dos cenários apresentados, porém com uma leve vantagem para o cenário 2 que apenas instalaria aquecedores de água solar nas casas, mas os dois cenários propostos têm uma diminuição considerável em relação ao cenário de referência – aproximadamente 40%.

O uso da geração distribuída proposta no Cenário 1, permite a aplicação do *Virtual Net Metering*, fazendo com que os usuários finais, possam armazenar a energia elétrica produzida por meio das placas fotovoltaicas, tendo os direitos de crédito na rede elétrica por até 5 anos conforme regulamentação brasileira, sendo assim, é possível realizar a gestão do uso da energia, utilizando a que foi enviada para a rede em períodos de geração excedente.

Como o presente trabalho foi feito baseado apenas nas 32 casas em construção, utilizando a curva de carga proposta por Leal (2006), sugere-se a possibilidade de novos trabalhos envolvendo o reassentamento por completo, além da proposição de outros cenários incluindo setor comercial. O resultado positivo para a instalação de placas fotovoltaicas, pode

sugerir a prefeitura e associação dos moradores do distrito que invistam numa pesquisa mais detalhada na busca da viabilidade da implementação de uma fazenda solar para abastecimento geral do reassentamento. No cenário proposto 1, vemos como mais viável a instalação das placas nas próprias casas – aproximadamente 16 placas por casa.

Por fim, é de extrema importância fomentar o desenvolvimento do planejamento integrado dos sistemas energéticos, buscando encontrar alternativas mais sustentáveis e eficientes. O presente trabalho atingiu o objetivo proposto, pois a geração distribuída tem ganhado espaço na matriz elétrica brasileira, além da geração de energia solar, que está cada vez mais consolidada no país, na busca pela produção de energética sustentável.

REFERÊNCIAS

ALVES, N. R. **Planejamento energético integrado do distrito de São Bartolomeu-MG.** Tese: Univers. Fed. de Ouro Preto. MG. 2022.

BARRETO, A.; PEREIRA, G.; COSTA ISABELLA. **Como quantificar os benefícios das redes inteligentes: desafios e perspectivas.** FGV Energia. Boletim energético, 2018.

BARSALI, S.; CERAOLO, M.; GIGLIOLI, R.; POLI, D. **Electric Power Systems Research.** Destec, University of Pisa, Largo Lucio Lazzarino, I, 2014.

BELL, Judith. **Doing your research project: a guide for the first-time researchers in education and social science.** 2. reimp. Milton Keynes, England: Open University Press, 1989. 145p.

BLOK, K. **O lado negligenciado do sistema de energia.** Blog do Kornelis. Univ. Tecn. De Delf. 2019. Disponível em: <https://korneliskblok.home.blog/2019/08/15/post-4/> Acesso em: 06 maio 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **BEN 2022: relatório final.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/balanco-energetico-nacional/ben-2022/ben-2022-relatorio-final/view> Acesso em: 28 abr. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **ANEEL regulamenta marco legal da micro e minigeração distribuída.** 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-regulamenta-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-distribuida> Acesso em: 22 abr. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de energia elétrica 2022: ano base 2021.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-> Acesso em: 01 maio 2023.

BRASIL. **Formas de energia.** 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao> Acesso em: 02 maio 2023.

BRASIL. **Fontes de energia.** 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia> Acesso em: 28 abr. 2023.

CABELLO, A. F.; POMPERMAYER, F. M. **Energia fotovoltaica ligada à rede elétrica: atratividade para o consumidor final e possíveis impactos no sistema elétrico.** Brasília: Ipea, 2013. (Texto para Discussão, n. 1812).

CASARIN, R. **Marco Legal da GD tornará energia solar mais atrativa para consumidor brasileiro.** Portal Solar. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/geracao-distribuida/absolar-marco-legal-da-gd-tornara-energia-solar-mais-atrativa-para-consumidor-brasileiro> Acesso em: 15 maio 2023.

CEMIG. Centrais Elétricas de Minas Gerais. **Valores de tarifas e serviços**. 2023. Disponível em: <https://cemig.com.br/valores-de-tarifas-e-servicos>. Acesso em: 18 jul. 2023.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. IPEA: Rio de Janeiro, 2018.

DAVID, J.; GRAPPE, R.; LACROIX, M.; TRAVERSI, E. **Self-sufficient sets in smartgrids**. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 69, 2018, p. 301-308.

DIAS, M. G. **Bandeiras Tarifárias na Energia Elétrica: Um estudo exploratório sobre a visão dos consumidores residenciais**. Centro de Cienc. Soc. Depto Adm. 2015.

GALLOTI, V. D. M. **Redes de energia elétrica inteligentes (*Smart grids*)**. *Research Society and Development*, v. 10, n. 9, 2021.

GASTALDELLO, D. **Desenvolvimento de metodologia para previsão da demanda de energia elétrica residencial considerando aspectos socioeconômicos e ferramentas computacionais inteligentes**. Univ. Politec. São Paulo. 2017.

GOMES, J. **Elas previnem fraudes e interrupções no fornecimento de energia elétrica: conheça as *Smart grids***. EESC. USP. 2023. Disponível em: <https://eesc.usp.br/ppgs/sel/post.php?guidn=elas-previnem-fraudes-e-interruptoes-no-fornecimento-de-energia-eletrica-conheca-as-smart-grids&catid=noticias> Acesso em: 24 maio 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**. Editora Recor, 2011. 112 p.

HARTLEY, Jean F. **Case studies in organizational research**. In: CASSELL, Catherine & SYMON, Gillian (Ed.). *Qualitative methods in organizational research: a practical guide*. London: Sage, 1994. 253p. p. 208-229.

HOMER SOFTWARE. **The best hourly assessment tool for hybrid renewable electric generation systems in the world – bar none**. 2023. Disponível em: HOMER Pro - Microgrid Software for Designing Optimized Hybrid Microgrids (homerenergy.com) Acesso em: 20 abr. 2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa eficiente: consumo e geração de energia**. Procel. Vol. 2. Florianópolis. UFSC, 2010.

LEAL, A. G. **Sistema para perdas em redes de distribuição de energia elétrica utilizando curvas de demandas típicas de consumidores e redes neurais artificiais**. Tese de doutorado. Escola politécnica. São Paulo: 2006.

- MORETTO, Y. **Como calcular o consumo de energia de um eletrodoméstico?** 2022. Disponível em: <https://www.promobit.com.br/blog/como-calcular-o-consumo-de-energia-de-um-eletrrodomestico/> Acesso em: 23 maio 2023.
- NAIR, C. N. K.; ZHANG, L. **Smartgrid: future networks for New Zealand power systems incorporating distributed generation.** Elsevier, 2009.
- NEVES, L. **Brasil introduz novas regras para geração distribuída e net metering.** 2022. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2022/01/10/brazil-introduces-new-rules-for-distributed-generation-net-metering/> Acesso em: 22 abr. 2023.
- OLIVEIRA, E.A.; SANTOS, G. A.; COUTINHO, R. A.; SILVA, R. B. **Implementação de redes inteligentes, seus benefícios e barreiras no mercado brasileiro.** Anima Educ. Repositório. 2022, 18p.
- PELIELO, G.; ACCÁCIO, R.; MOYSÉS, R. **Smart Grid: redes inteligentes.** Dep. Eng. Contr. Autom. UFRJ, 2016.
- PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Quarto plano anual de aplicação de recursos do programa nacional de conservação de energia elétrica.** Grupo Coord. De Cons. Energ. Eletr. 2023.
- RUTHER, R.; NASPOLINI, H. F. **Impacts of Domestic Solar Water Heating (DSWH) systems on the cost of a hot shower in low-income dwellings in Brazil.** Univ. Fed. Santa Catarina. Elsevier. 2017.
- SANTO, K. G.; KANASHIRO, E.; SANTO, S. G.; SAIDEL, M. A. **A review on smart grids and experience in Brazil.** Renewable and Sust. Energy Reviews, 52, 2015, 1072-1092.
- ESALQ – USP. **Reflorestamento da Mata Atlântica absorve 1,2 milhão de toneladas de CO2.** ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO ESALQ, 2013. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/acom/clipping_semanal/2013/3marco/23_a_29/files/assets/downloads/page0013.pdf Acesso em: 22 de Agosto de 2023.