

**Pedro Luís Maturano Cipolla**

**Título do trabalho: Avaliação Técnica, Econômica e Social para a  
Implantação de Microrredes em Sistemas de Distribuição de Energia  
Elétrica**

**Sorocaba**

**2021**

**Pedro Luís Maturano Cipolla**

**Título do trabalho: Avaliação Técnica, Econômica e Social para a  
Implantação de Microrredes em Sistemas de Distribuição de Energia  
Elétrica**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Interunidades, entre o Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba e o Campus de São João da Boa Vista da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Cebrian Amasifen

Coorientador: Prof. Dr. Helmo Kelis Morales Paredes

**Sorocaba**

**2021**

C577a Cipolla, Pedro Luís Maturano  
Avaliação técnica, econômica e social para a implantação de microrredes em sistemas de distribuição de energia elétrica / Pedro Luís Maturano Cipolla. -- Sorocaba, 2021  
99 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba  
Orientador: Juan Carlos Cebrian Amasifen  
Coorientador: Helmo Kelis Morales Paredes

1. Energia Fontes alternativas. 2. Geração distribuída de energia elétrica. 3. Renda. 4. Sistemas de energia elétrica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Pedro Luís Maturano Cipolla

**Título do trabalho: Avaliação Técnica, Econômica e Social para a  
Implantação de Microrredes em Sistemas de Distribuição de Energia  
Elétrica**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Interunidades, entre o Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba e o Campus de São João da Boa Vista da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Juan Carlos Cebrian Amasifén  
UNESP – Universidade Estadual Paulista - Campus de Itapeva  
Orientador

Profa. Dra. Fernanda Caseño Trindade Arioli  
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação

Prof. Dr. Wilington Guerra Zvietcovich  
Universidade Federal de Ouro Preto

Sorocaba  
13 de maio de 2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Avaliação Técnica, Econômica e Social para a Implantação de Microrredes em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**

**AUTOR: PEDRO LUÍS MATURANO CIPOLLA**

**ORIENTADOR: JUAN CARLOS CEBRIAN AMASIFEN**

**COORIENTADOR: HELMO KELIS MORALES PAREDES**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA ELÉTRICA, área: Automação pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JUAN CARLOS CEBRIAN AMASIFEN (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia de Produção / UNESP - Câmpus de Itapeva

Profa. Dra. FERNANDA CASEÑO TRINDADE ARIOLI (Participação Virtual)  
Departamento de Sistemas de Energia Elétrica / Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Prof. Dr. WILINGTHON GUERRA ZVIETCOVICH (Participação Virtual)  
Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

Sorocaba, 13 de maio de 2021

“Ciência não é uma escolha. É uma necessidade.  
Quem não enxerga isso está fadado a um  
obscurantismo que condena o futuro do país.”

(Marcelo Gleiser)

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Angelo e Maria Aparecida, que sempre me apoiaram na trajetória de vida pessoal, acadêmica e profissional. Sinto por não compartilharem este momento de alegria, pois nos deixaram durante o período de curso neste programa.

A minha esposa Cristiane, por estar sempre ao meu lado, incentivando nos momentos mais difíceis.

Aos demais familiares e amigos, e claro, o meu muito obrigado especial aos que diretamente me apoiaram e auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor orientador Juan Carlos Cebrian Amasifen, por toda dedicação, motivação e contribuição para a minha formação, pela qualidade na orientação, transmissão e discussão assertiva dos conhecimentos necessários para a abordagem deste tema.

Ao professor coorientador Helmo Kelis Morales Paredes, por também dar todo apoio, dedicação e transmissão dos seus conhecimentos técnicos.

Aos demais professores do programa de pós-graduação, pelos ensinamentos compartilhados.

Aos meus colegas do programa de pós-graduação, pelo apoio e constante incentivo, trabalho em equipe e troca de conhecimentos.

Ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, seus professores, técnicos e administrativos. A todos que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse finalizar mais uma etapa de formação.

## RESUMO

Devido à crescente necessidade da utilização da energia elétrica como elemento ativo para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, novas tecnologias têm sido empregadas nos sistemas elétricos buscando, por um lado, melhorar a qualidade da energia produzida e distribuída por empresas do setor elétrico e, por outro lado, o desenvolvimento econômico e social das pessoas atendidas nos grandes e pequenos centros de consumo. Para tanto, neste trabalho propõe-se um novo indicador, denominado de Índice de Viabilidade de Microrredes (IVM) para determinar a atratividade na instalação de uma Microrrede elétrica em uma determinada região geográfica com potencial para o desenvolvimento econômico e social nas comunidades. O IVM visa auxiliar as empresas elétricas do setor e as instituições governamentais no planejamento e implantação de projetos de Microrredes elétricas. Sendo assim, o IVM utiliza uma metodologia que permite avaliar a viabilidade para a implantação de Microrredes elétricas em rede de distribuição de energia elétrica por meio do tratamento agregado de indicadores técnicos, econômicos e sociais. Como resultado deste trabalho foram obtidos os maiores valores de IVM para setores com regiões de maior carência por investimentos sociais, além de verificar índices técnicos e econômicos envolvidos para o sistema elétrico nestas mesmas áreas. Conclui-se que há maneiras de implantar os sistemas de Microrredes elétricas em áreas de uma rede elétrica principal, com maior efetividade dos recursos aplicados.

**Palavras-chave:** Fontes renováveis de energia, geração distribuída de energia elétrica, microrredes elétricas, sistemas de energia elétrica, trabalho e renda.



## ABSTRACT

Due to the growing need to use electricity as an active element to improve people's quality of life, new technologies have been used in electrical systems seeking, on the one hand, to improve the quality of energy produced and distributed by electric utilities and, on the other hand, the economic and social development of people located in large and small consumption centers. This research proposes a new indicator, here called Microgrid Feasibility Index (MFI) to determine the attractiveness of microgrid installations on geographic regions with potential to cause economic and social development in local communities. The MFI aims to help electric utilities and government institutions during the planning and implementation of microgrid projects. MFI uses a methodology that allows to evaluate feasibility of implementing microgrids in distribution networks through the aggregate treatment of technical, economic, and social indicators. As a result of this research, the highest values of MFI are obtained for geographic sectors with greater need for social investments. It is concluded that there are ways to implement microgrids systems in distribution networks taking into account social aspects along with technical and economic aspects.

**Keywords:** Distributed generation of electric power, electric power systems, electrical microgrids, renewable energy sources, work and income.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de Microrredes proposta pela CERTS.....	29
Figura 2 - Modelo de Microrredes CERTS modificado em 2018.....	30
Figura 3 - Modelo de Microrredes proposta pela União Europeia.....	31
Figura 4 - Conexão e Definição de Microrredes.....	33
Figura 5 – Esquema de controle das Microrredes.....	34
Figura 6 - Acréscimo anual da capacidade de energia renovável.....	40
Figura 7 - Comparação do crescimento da capacidade de geração de energia (Renováveis x Não renováveis).....	41
Figura 8 - Matriz Energética do Brasil.....	42
Figura 9 - Capacidade Global de Geração Fotovoltaica e Crescimento Anual: 2009-2019.....	43
Figura 10 - Capacidade Global de Geração Eólica e Crescimento Anual: 2009-2019.....	44
Figura 11 - Comparação da variação de custos entre as diversas tecnologias (entre anos 2010 e 2019).....	47
Figura 12 - Indicadores.....	50
Figura 13 - Dimensão e Indicadores.....	51
Figura 14 - Faixas de Tensão em Relação à Referência.....	53
Figura 15 - Esquemática para dimensionamento das Microrredes.....	60
Figura 16 - Gráfico função de pertinência triangular.....	64
Figura 17 - Gráfico da função de pertinência trapezoidal.....	64
Figura 18 - Diagrama Fuzzy do Projeto de Microrredes.....	68
Figura 19 – Gráficos de funções de pertinência para os três indicadores, o técnico, o econômico e o social.....	68
Figura 20 - Gráfico de defuzzificação do IVM.....	70
Figura 21 - Fluxograma para análise do IVM.....	71
Figura 22 - Rede de distribuição 467.....	74
Figura 23 - Curva da carga da subestação – primeiro cenário.....	75
Figura 24 - Comparativo de cargas P(kW) x t(h).....	77
Figura 25 - Indicador de tensão - comparativo de cenários 1 x 2.....	78
Figura 26 - Comparação de cenários econômicos.....	79
Figura 27 - Mapa setores censitários Osasco / Barueri.....	80
Figura 28- Localização das Microrredes nos setores censitários.....	81
Figura 29 - Microrrede 12 x Microrrede 17.....	85

Figura 30 - IVM dos 166 pontos em análise da Rede 467 .....	86
Figura 31 - Pontos de alto IVM .....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios de seleção para instalar PV .....	26
Tabela 2 - Microrredes nas redes principais: benefícios e dificuldades .....	37
Tabela 3 - Softwares .....	52
Tabela 4 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV .....	54
Tabela 5 - Indicador do nível de tensão. Valores adaptados do Módulo 8 PRODIST.....	55
Tabela 6 - Custos de geração de energia .....	56
Tabela 7 - Indicador de custos de geração com GD .....	59
Tabela 8 - Indicador renda média .....	62
Tabela 9 - IVM .....	66
Tabela 10 - Dimensões Fuzzy para o sistema proposto.....	67
Tabela 11 - Regras de fuzzificação.....	69
Tabela 12 - Dados para fluxograma do IVM.....	71
Tabela 13 - Tabela de cores .....	72
Tabela 14 - Comparativo de Microrredes.....	72
Tabela 15 - Cenários de análise .....	75
Tabela 16 - Comparativo entre Rede de Distribuição sem Microrredes: cenário 1 vs cenário 2 .....	76
Tabela 17 - Dimensão Social de uma parte da SDEE avaliada .....	82
Tabela 18 - Cenário 3 .....	83
Tabela 19 - Cenário 4 .....	83
Tabela 20 - Cenário 5 .....	84
Tabela 21 - Comparação Microrredes por IVM .....	84
Tabela 22 - Comparação entre pontos de alto IVM.....	87
Tabela 23 - Posição Microrrede + Dimensão Social .....	96

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	MOTIVAÇÃO .....	16
1.2	OBJETIVOS .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>MICRORREDES .....</b>	<b>28</b>
3.1	DEFINIÇÃO DE MICRORREDE .....	31
3.2	CONTROLE E GERENCIAMENTO DAS MICRORREDES.....	33
3.3	MICRORREDES NO MUNDO .....	34
3.4	MICRORREDES NO BRASIL .....	36
3.5	CARACTERÍSTICAS DAS MICRORREDES: BENEFÍCIOS E DIFICULDADES .....	38
<b>4</b>	<b>MICRORREDES ELÉTRICAS E RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS .....</b>	<b>39</b>
4.1	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....	39
4.1.1	Geração fotovoltaica.....	42
4.1.2	Geração Eólica .....	44
4.1.3	Geração à combustão .....	45
4.1.4	Comparação das fontes de geração de energia elétrica.....	45
4.2	ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.....	47
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>49</b>
5.1	INDICADORES .....	49
5.1.1	Dimensão técnica .....	52
5.1.2	Dimensão econômica .....	55
5.1.3	Dimensão social.....	60
5.2	APLICAÇÃO DA LÓGICA <i>FUZZY</i> NA AVALIAÇÃO DO IVM .....	62
5.3	ÍNDICE DE VIABILIDADE DE MICRORREDES.....	65

<b>6</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>74</b>
6.1	CENÁRIOS .....	74
6.1.1	Análise técnica da rede principal pelo OpenDSS .....	77
6.1.2	Análise econômica pelo HOMER Pro.....	78
6.1.3	Análise social pelo software QGIS .....	80
6.1.4	Índice de Viabilidade das Microrredes.....	82
6.1.5	Comparando Microrredes .....	84
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>88</b>
7.1	TRABALHOS FUTUROS .....	89
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>96</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, tecnologias de monitoramento e controle estão cada vez mais presentes na geração, na transmissão e na distribuição da energia elétrica com o intuito de estruturar um sistema elétrico cada vez mais integrado e resiliente. Essa integração visa trazer benefícios ao consumidor em relação à qualidade da energia entregue principalmente no aumento do desempenho operacional do sistema elétrico. (ALCÂNTARA, 2011).

No caso da rede elétrica brasileira, ela hoje é praticamente toda interligada, sendo que apenas 0,7% do consumo elétrico brasileiro em 2018 foi gerado e transmitido por sistemas isolados, principalmente em área abrangida pela região amazônica (EPE, 2020). Com a interligação da rede elétrica brasileira, podem ocorrer falhas na rede que provoquem interrupção do fornecimento da energia elétrica ou variações de tensão ao longo da extensão da rede elétrica por causas naturais ou sobrecargas no sistema. Essas situações de falhas, denominadas de eventos, podem danificar os equipamentos dos consumidores ou até causar a interrupção de linhas de produção de uma indústria, ocasionando enormes prejuízos econômicos, principalmente ao setor industrial.

Com a evolução da eletrônica de potência e a necessidade de melhor atender os consumidores, surgem as Redes Elétricas Inteligentes (REI) (ou em inglês *Smart Grids*). As REI são a evolução das redes elétricas convencionais, agregando controle inteligente, comunicação e tecnologias de auto solução. Além disso, as tecnologias associadas com as REI estão presentes em todo o sistema elétrico, desde as grandes centrais geradoras de energia, o transporte em alta tensão até o ponto de consumo da energia elétrica. Para uma situação local, pequenas redes também podem ser inseridas no sistema da REI, elas podem ser chamadas de Microrredes elétricas (CALLEJO, 2019).

Nesse sentido, o conceito de Microrredes foi se moldando como uma alternativa adequada para melhorar a eficiência durante a operação do sistema de distribuição de energia elétrica (SDEE). Isso é possível já que as Microrredes podem atuar em situações em que a rede elétrica principal não consegue suprir adequadamente a energia fornecida a um grupo de consumidores, seja pela interrupção da energia elétrica ou pela precariedade da energia elétrica entregue aos consumidores, não atingindo os limites de qualidade definidos pelos órgãos reguladores. As Microrredes também podem garantir o suprimento da energia elétrica para cargas críticas, como hospitais, bombeiros, entre outros. Contudo, as Microrredes devem possuir geradores distribuídos (GD's), os quais garantem o fornecimento da energia elétrica de

um modo seguro e contínuo em conjunto a equipamentos que possam monitorar, controlar e manter a qualidade da energia elétrica (QEE) fornecida (FUSHENG, RUIHENG e FENGQUAN, 2016).

As Microrredes elétricas não podem ser consideradas uma tecnologia nova, pois, já em 1882 Thomas Edison construiu a Estação Manhattan Pearl Street, considerada a primeira planta de geração em formato de Microrrede (ALCÂNTARA, 2011). Desde esse tempo as Microrredes elétricas evoluíram e na atualidade ganharam impulso junto com tecnologias como os recursos energéticos distribuídos e os sistemas de armazenamento de energia (QUEZADA, SAMPER e VARGAS, 2016). De forma geral, as Microrredes elétricas devem ser capazes de operar ilhada - “*off-grid*”, contudo elas também podem estar acopladas à rede principal de distribuição - “*on-grid*” através do Ponto de Acoplamento Comum (PAC) (CALLEJO, 2019). No caso de uma Microrrede em operação “*off-grid*”, esta tem a oportunidade de trabalhar em modo desconectado da rede principal de distribuição por longos intervalos de tempo (horas, dias ou ainda semanas) dependendo da geração de energia elétrica da própria Microrrede para abastecer seus consumidores. Essa opção operacional permite que as Microrredes se tornem inteligentes e independentes na geração e no consumo da energia elétrica. Contudo, isso é aceitável, desde que seja controlada por um gerenciador central para que, quando houver necessidade, a Microrrede possa entrar em modo *on-grid*, ou seja, conectada com o SDEE em tensão e frequência adequadas ao sistema elétrico (ETO, LASSETER, *et al.*, 2018).

Quando se trata das questões econômicas, as Microrredes trazem diversos benefícios como (CHOWDHURY, CHOWDHURY e CROSSLEY, 2009):

- A redução dos custos de distribuição, ou seja, menor distância entre geração e consumo minimizando as perdas elétricas no sistema,
- A melhoria no perfil de tensão elétrica nos PCC dos consumidores. Isso evita que as concessionaras enfrentem perdas financeiras associadas com multas e ressarcimentos aos consumidores por falta de conformidade no nível de tensão,
- A redução do congestionamento do alimentador principal,
- A postergação de investimentos para suprir a demanda de energia,
- A redução dos custos por perdas elétricas ativas (postergação dos investimentos para suprir aumentos de demanda), que podem chegar a 3% da energia ofertada na rede principal, entre outros.

Com a utilização de microrredes, há um aumento significativo da eficiência energética provocada justamente por ser uma rede com geração e consumo local próxima do consumidor. Essa característica de proximidade dos GD's cria um mercado local de consumo e geração, o



que traz riscos econômicos menores por se tratar de investimentos de pequena escala. Além disso, há um compartilhamento de energia entre geradores dentro da própria Microrrede evitando a necessidade da exportação de energia para a rede principal, o que resultaria em preços baixos obtidos por essa exportação, causadas pela independência no fornecimento de energia devido a menor distância da geração aos consumidores. A conexão da rede principal com a Microrrede também garante uma segurança adicional e serviços auxiliares oferecidos pelos GD's, pois estes garantem, por um lado, melhorias nos níveis de tensão, caso ocorram interrupções de energia elétrica provocadas por faltas elétricas, e por outro lado, tempos menores de manutenção durante o restabelecimento do fornecimento da energia elétrica após interrupções permanentes (CHOWDHURY, CHOWDHURY e CROSSLEY, 2009).

Algumas desvantagens também podem ser levadas em relação as Microrredes, entre elas podemos destacar a necessidade de investir em cursos de formação de mão de obra especializada em novas tecnologias, a qual pode ser feita por instituições públicas, para a estruturação desses cursos (KNOPKI, 2018). Há também desvantagens técnicas, como em ANEEL, (2016), que salienta que com o aumento de pequenos geradores descentralizados, em consequência da implantação das Microrredes, a complexidade da operação da rede de distribuição de energia elétrica também aumenta, principalmente pela dificuldade em criar novas formas de cobrança da energia consumida e no uso do sistema, além de alterar os procedimentos de operação, controle e proteção das redes elétricas por parte das concessionárias da energia elétrica. A complexidade da operação e do gerenciamento estão relacionados à necessidade do desenvolvimento das infraestruturas de telecomunicações e protocolos de comunicação específicos para Microrredes. (CHOWDHURY, CHOWDHURY e CROSSLEY, 2009).

Outro efeito negativo para as Microrredes está relacionado à forma de geração de energia, sendo preferencialmente obtidas por fontes renováveis, as quais não garantem uma constância de fontes de geração de energia, portanto dependem de sistemas de armazenamento da energia. Com isso, parte (ou toda) da energia gerada pode ser armazenada em alguns momentos e consumida em outros. Esta limitação faz com que estas Microrredes apresentem custos maiores (DASH, BEHERA, *et al.*, 2018).

Por ser uma rede com intervenção local, os efeitos das Microrredes para os residentes do entorno são muito efetivos do ponto de vista socioeconômico, já que promove o trabalho e a renda. Em FARIAS (2018), o autor afirma que o desenvolvimento das novas tecnologias do setor elétrico em concomitância com o crescimento da geração descentralizada gera, por um

lado, novos empregos e, por outro lado, demanda de uma qualificação de profissionais na área. Outro ponto interessante destacado em MME (2020) é que o desenvolvimento econômico e social de determinada região geográfica está ligado intrinsecamente ao consumo de energia elétrica, já que cada grupo de pessoas dentro da região geográfica pode produzir e distribuir riquezas para todos os envolvidos. Sendo assim, o conceito de Microrrede vem a contribuir na modernização do setor elétrico e no desenvolvimento local, seja pela possibilidade de garantir o fornecimento de energia elétrica aos consumidores ou pela possibilidade de incentivar polos de desenvolvimento econômico e social.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

As Microrredes elétricas tornam-se uma solução viável para um melhor aproveitamento das diferentes formas de geração da energia elétrica trazendo principalmente menores custos de operação devido à proximidade com os consumidores e reduzindo riscos pela falta de energia elétrica para estes consumidores. Com isso, as Microrredes aliadas aos recursos energéticos distribuídos permitem, por um lado, uma posição mais ativa dos próprios consumidores no setor elétrico colocando-os como produtores da sua própria energia, e por outro lado, uma participação direta no desenvolvimento socioeconômico da população em relação à geração de emprego e renda local.

No contexto geral, a inserção das Microrredes pode trazer benefícios importantes para todos os envolvidos no setor elétrico, contudo esse cenário também pode acarretar algumas dificuldades no gerenciamento da energia elétrica. Portanto, estudos são necessários para, por um lado, definir estratégias para preparar as redes elétricas neste tipo de cenários e, por outro lado, identificar regiões geográficas que possam apresentar grande potencial para a instalação de Microrredes em termos de desenvolvimento econômico e social na vida das pessoas imersas nas Microrredes.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral:

Propor uma metodologia eficiente que permita avaliar um indicador de viabilidade para a instalação de Microrredes (IVM) em sistemas de distribuição. Este indicador visa auxiliar na tomada de decisão de empresas interessadas em investir e atuar nas Microrredes bem como de órgãos governamentais para o desenvolvimento desta tecnologia. Sendo assim, este trabalho

aborda de forma integrada aspectos técnicos, econômicos e sociais na composição do IVM. Este indicador proposto ajuda a identificar regiões geográficas mais atraentes para a execução de investimentos nessas tecnologias.

Assim também, este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Simular cenários de implantação de Microrredes elétricas em redes de distribuição considerando os aspectos operacionais em condições normais de operação;
- Propor um modelo técnico-econômico-social que avalie a atratividade em investimentos feitos por grupos de consumidores em tecnologias associadas com as Microrredes;
- Estimular projetos de Microrredes que possam desempenhar um papel de fomento para regiões de baixo desempenho econômico e social, isso com o intuito de incentivar o desenvolvimento do trabalho e da renda local.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De forma geral, as redes elétricas convencionais possuem, durante a operação das suas instalações, elementos de controle eletromecânicos e poucos sensores de monitoramento. Contudo, essa característica operacional tem se modificado com a integração dos RED's<sup>1</sup> ao sistema elétrico. As RED utilizam inversores de energia inteligentes e sistemas de armazenamento de energia que dão a oportunidade de controlar o pico de cargas na demanda. As RED's utilizam infraestruturas de comunicação e automação que permitem monitorar, gerenciar e otimizar as futuras redes elétricas (STRASSER, ANDRÉN, *et al.*, 2015).

Essa nova forma de interação da rede elétrica é “rede de energia elétrica inteligente” - REI. As REI utilizam tecnologias de informação e comunicação para otimizar a produção e utilização da eletricidade, visando o equilíbrio da oferta e demanda entre produtores e consumidores, além de otimizar os fluxos de energia elétrica e melhoria dos processos de detecção de falhas (CALLEJO, 2019).

As REI possuem na sua composição, RED's, controlador mestre, interruptores inteligentes, dispositivos de proteção, bem como sistemas de comunicação, controle e automação, o que representa um avanço tecnológico para atender aos consumidores. Com essa configuração, obtém-se diversos benefícios tais como: maior confiabilidade com a introdução de autocorreção na rede de distribuição local; maior qualidade de energia elétrica devido ao gerenciamento das cargas locais; redução da emissão de carbono pelo uso de fontes de energia limpa; uma operação econômica, diminuindo os custos de transmissão e distribuição (T&D); a utilização de (GD) renováveis menos onerosas; e maior eficiência energética ao responder os preços de mercado em tempo real (PARHIZI, HOSSEIN, *et al.*, 2015).

Segundo PARHIZI, HOSSEIN, *et al.*, (2015), as Microrredes elétricas são consideradas como instalações RED's devendo possuir três características seguintes: primeira, elas devem possuir limites elétricos bem definidos; segunda, elas devem utilizar um controlador mestre que gerencia e opera a RED além das cargas como uma entidade controlável única; e terceira, elas devem ter a capacidade instalada de geração elétrica suficiente para o consumo crítico local, o que possibilita a desconexão da rede elétrica principal trabalhando de modo ilhado. Essas características mostram as Microrredes como um sistema de energia de pequena

---

<sup>1</sup> Recursos Energéticos Distribuídos são tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, localizados dentro dos limites da área de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades consumidoras, atrás do medidor (EPE, 2018). Essa definição pode incluir geração distribuída, armazenamento de energia, veículos elétricos e estrutura de carga, eficiência energética e gerenciamento pelo lado da demanda.

escala (podendo chegar a 5 MW em conformidade com os limites das GD's), elas podem ter a capacidade de se auto abastecer, ou seja, em ilhamento (desconectada da rede principal) podem gerar, distribuir e regular o fluxo de eletricidade para os seus clientes. Para o projeto das Microrredes, deve ser levado em consideração, por um lado, se estará interligada à rede principal de distribuição, nesta condição a Microrrede poderá operar ilhada quando necessário, ou por outro lado, se estará distante da rede principal de energia elétrica, neste caso a Microrrede pode ser considerada isolada do sistema elétrico com a finalidade de atender cargas afastadas da rede principal como áreas rurais de difícil acesso, ou sem conexão possível com a rede elétrica principal, como exemplo, ilhas ou reservas naturais.

As cargas sendo atendidas pelas Microrredes podem ser denominadas fixas, pois não podem ter variações de projeto e devem ser satisfeitas com as condições normais de operação. As cargas também são denominadas flexíveis (ajustáveis), pois podem ser reduzidas ou adiadas ao longo do tempo, devendo responder aos sinais de controle por incentivos econômicos ou quando há a necessidade de ilhamento para controle da Microrrede. Para as GD's, que são sistemas de geração localizados próximos à carga (ou seja, do consumidor da energia), elas podem, por um lado, ser alimentadas por fonte de energia renovável ou não, e por outro lado, ser despacháveis ou não. Se despacháveis, ou seja, quando são passíveis de controle de geração conforme a demanda, as GD's são gerenciadas pelo controlador mestre da Microrrede e ficam sujeitas a restrições técnicas como, por exemplo, limite da capacidade de geração, tempo mínimo para ser acionada e desligada, entre outros. Se não despacháveis, significa que a geração de energia elétrica não pode ser controlada, como por exemplo, as GD's que utilizam fontes renováveis intermitentes. Essas características possibilitam a utilização de recursos renováveis como eólico ou solar, os quais produzem energia elétrica intermitente (a geração nem sempre está disponível). Porém, as GD's de fontes renováveis têm a vantagem de minimizar custos, minimizar a emissão de gás carbônico e efeitos do aquecimento global. As unidades com recurso de energia renovável podem ser administradas com a instalação de sistemas armazenamento de energia eliminando o problema da intermitência da geração (PARHIZI, HOSSEIN, *et al.*, 2015).

Os benefícios econômicos e ambientais das Microrredes, e conseqüentemente o grau de implantação e proliferação massiva dessa tecnologia, corresponde diretamente ao nível de controle e operacionalidade que atingirá o seu desempenho no SDEE. Por exemplo, para MURTAGH, MIHIRIG, *et al.* (2016), a integração dos recursos de energia renováveis junto com às Microrredes representa uma solução para os problemas ambientais dos dias atuais, como

as mudanças climáticas, e elevada emissão dos poluentes. Por outro lado, existe um grande potencial para o aproveitamento das tecnologias das energias renováveis em larga escala. Por exemplo, nos Estados Unidos a energia vinda de fontes renováveis pode chegar entre 38 a 54% da energia gerada até o ano de 2050, segundo estudo da *National Renewable Energy Laboratory*, (NREL, 2020).

As Microrredes podem operar em dois modos em função da conexão com a rede de distribuição principal, ou seja, parcial quando em modo ilhado, ou integral quando em modo conectado à rede principal. Nestes modos, existe a possibilidade de importar da rede principal a energia elétrica necessária para atender as cargas que compõem esta Microrrede ou exportar a energia elétrica disponível ao sistema principal, em diferentes situações. Por exemplo, quando houver algum distúrbio elétrico detectado pelos componentes de monitoramento da Microrrede, esta pode passar para o modo ilhado, fornecendo assim energia para as cargas com prioridade (CHOWDHURY, CHOWDHURY e CROSSLEY, 2009).

Segundo KATIRAEI, IRAVANI, *et al.* (2008), o controle da Microrrede pode ser feito de forma centralizada ou descentralizada. No caso do controle centralizado, a estratégia imposta por esse controlador otimiza a troca de energia entre a Microrrede e o restante da rede de distribuição maximizando a produção local de energia elétrica. A melhor condição de troca energética vai depender das condições de mercado e restrições de segurança onde está instalada a Microrrede. No caso de controle descentralizado, este tipo de controle possibilita maior autonomia para a Microrrede, para seus RED's e para suas cargas. Contudo, é necessário que os controladores locais possuam níveis adequados de inteligência e de comunicação entre si, com o intuito de otimizar a operação da Microrrede como um todo.

A inclusão das Microrredes ao sistema elétrico é extremamente complexa. Algumas das razões estão relacionadas à geração de energia e como a Microrrede interage e impacta no SDEE, pois há tendência de crescimento da inclusão das fontes renováveis de energia através das GD's, no sistema das Microrredes (QUIROGA, KAGAN, *et al.*, 2015). Nesse sentido, a interligação da Microrrede ao SDEE convencional pode ser no formato centralizado, onde uma GD envia energia para toda o SDEE, ou descentralizado, com vários GD's. O SDEE é, na sua maioria, em corrente alternada (CA) e a geração de energia nas Microrredes é normalmente obtida por fontes renováveis em corrente contínua (CC), ou se forem obtidas em CA, possuem amplitude e frequência diferentes do sistema de distribuição convencional. Desta forma a interligação se dará no formato centralizado, ou seja, a geração e o armazenamento de energia poderão ser interligados ao sistema utilizando um barramento em CC. Isto reduz as perdas elétricas por não ter o fluxo de potência reativa nos barramentos em CC, e também pode facilitar

o controle do fluxo de potência para a rede principal por meio de um conversor CC-CA. Outra possibilidade para o formato centralizado seria conectar as GD's em um barramento em CA de alta frequência e este à rede por um conversor de baixa frequência, o que pode reduzir o número de elementos de armazenagem de energia. Por sua vez, no formato descentralizado de geração distribuída, esse controle pode fornecer maior confiabilidade ao sistema, por depender de outros geradores onde, se um desses falha, a carga pode ser suprida por outros que são interligados diretamente à rede principal pelo PAC<sup>2</sup> por conversores ou um conjunto deles. Desta forma, deverá ter comunicação para todos os conversores que podem gerenciar a referência da potência (ou seja, a necessidade de energia para abastecer a Microrrede) que deve ser enviada ao sistema (BRITO, ALVES e CANESIN, 2020).

Para PAQUETE e DIVAN (2012), as Microrredes são classificadas por três funções distintas: confiabilidade, resiliência e qualidade da energia elétrica. No caso da *confiabilidade*, é comum que os consumidores avaliem a alimentação da energia elétrica pela frequência e duração das interrupções de energia, sendo assim, as Microrrede oferecem níveis maiores de confiabilidade quanto ao fornecimento de energia elétrica, os quais são destinados a consumidores que precisam de *backups* durante as interrupções de energia. Esses *backups* devem ser projetados para atender as necessidades de cada cliente imerso na Microrrede. Sendo assim, a geração própria da Microrrede tem preferência por fontes a combustão por apresentar uma maior consistência quando é acionada. Com isso, em casos de uma interrupção da energia, o sistema de geração pode deixar a Microrrede em modo ilhado da rede de distribuição, ou seja, a Microrrede pode trabalhar como um elemento de *backup* energético para os consumidores por ela atendidos.

Em relação à função de resiliência das Microrredes, Em PAQUETE e DIVAN, (2012) e PARHIZI, *et al.*, (2015), os autores destacam que as Microrredes estão direcionadas ao atendimento de consumidores que necessitam de uma resposta rápida para o retorno da normalidade do fornecimento da energia elétrica após uma contingência. Esta função é preparada para a recuperação rápida do atendimento após, por exemplo, uma interrupção catastrófica que possa atingir uma determinada região. Para essa função, podem ser usados sistemas de geração de energia externos à Microrrede ou até com armazenamento de energia com gerenciamento da carga dos consumidores locais.

---

<sup>2</sup> Ponto de acoplamento comum, ponto onde há a conexão da microrrede com a rede elétrica principal

No caso da função da Microrrede para *Qualidade de energia*, esta pressupõe ao atendimento dos níveis de qualidade da energia ofertada aos consumidores, abordando o controle da tensão, frequência, carregamento e resposta rápida do sistema de armazenamento. Nesse sistema, dispositivos eletrônicos como inversores são utilizados para monitorar e controlar a qualidade da energia disponibilizada pelos GD's individualmente ou em modo coletivo na área de abrangência da Microrrede. Essas Microrredes também podem ser utilizadas para melhorar a qualidade: da frequência, dos harmônicos (reduzir as correntes harmônicas), da queda de tensão (nível adequado de tensão), das oscilações transitórias ou até impedir através das GD's a falta de energia para os consumidores conectados à Microrrede.

Das fontes de geração utilizadas que fazem parte dos RED's de uma Microrrede, pode-se enumerar as fontes solar, eólica como as mais utilizadas no SDEE, sendo a fonte solar a que mais tem aumentado nos últimos anos pela possibilidade de utilizar espaços livres nos telhados das casas ou estabelecimentos comerciais/industriais e pelo custo cada vez mais reduzido dos equipamentos. Nesse sentido, a fonte solar para a geração elétrica tem como características a intermitência e a dependência das condições climáticas, podendo alcançar maior eficiência com o melhor aproveitamento da irradiância solar e temperatura dos painéis coletores (ABDELSALAM, MASSOUD, *et al.*, 2011).

Segundo POTTY, KENY e NAGARAJAN (2013), a arquitetura das Microrredes pode ser definida em três elementos, os *nós*, a *Estação Inteligente* (do inglês *Smart Station*) e o *Medidor Inteligente* (do inglês *Smart Meter*). Os *nós* representam os consumidores finais conectados a uma GD que gera energia suficiente para atender as suas cargas. O nó tem um controlador local que detecta o fluxo de energia através dele, ou seja, verifica a energia (entrada e saída) e o consumo da energia no consumidor deste nó. Também detecta o consumo de energia do usuário final e o quanto este consumo impacta no sistema. No caso da *Estação Inteligente*, ela tem a responsabilidade de regular toda a energia que atravessa pela Microrrede. No caso do *Medidor Inteligente*, ele é responsável pelo monitoramento e gerenciamento das cargas e deve se comunicar com a *Estação Inteligente*, além de possuir mecanismos de comutação para conectar ou desconectar o nó quando houver necessidade.

Para a questão do gerenciamento da energia da Microrrede para o SDEE, a Microrrede deve contar com elementos da eletrônica de potência para monitorar, gerenciar e controlar o fluxo de potência. Em POTTY, KENY e NAGARAJAN (2013), os autores mostram uma arquitetura da Microrrede com o controle da função de bidirecionalidade do fluxo de potência, onde uma estação de controle inteligente (ECI), é responsável por gerenciar e controlar continuamente o fluxo de potência dos elementos da Microrrede e, entre ela e o SDEE por um



controlador central. Esta (ECI) recebe informações de cada nó, que é o ponto de ligação dos elementos que compõem a Microrrede, o qual permite o controle em tempo real. A ECI também verifica se há excesso ou falta de energia, se há falha no fluxo da energia, redireciona a energia para os nós com base nesse controle, visando otimizar o fluxo de potência, o que reduz a necessidade do uso da energia do SDEE. Os elementos de controle também podem fazer a alteração do tipo de corrente que deve ser enviada para um ou outro sistema, seja em CC ou CA. Vale ressaltar entre outros aspectos, a manutenção dentro dos limites de tensão estabelecidos em normas, o que evita o mau funcionamento dos equipamentos a serem energizados, bem como a possibilidade de minimizar as perdas elétricas na rede de distribuição principal, tais aspectos que podem ser melhorados com a inclusão das Microrredes.

Em relação ao uso das Microrredes, como a geração é realizada próxima aos consumidores, há significativa redução dos custos operacionais propiciada, por um lado, pela redução das perdas elétricas e, por outro lado, pela menor necessidade de investimentos nas redes elétricas. Além disso, as Microrredes beneficiam aos consumidores por ter capacidade de geração elétrica e/ou armazenamento de energia para consumo em horários do dia que possuem preços elevados de mercado de energia elétrica, ou com elevada demanda na rede de alimentação, o que diminui a QEE ofertada pelo SDEE. Um ganho adicional pode estar relacionado à exportação da energia elétrica excedente, ou seja, da oferta da energia elétrica produzida na Microrrede e exportada para o SDEE. Essas condições podem gerar benefícios também para o sistema elétrico como um todo, sendo que reduz a transferência de energia para o SDEE melhorando a QEE para todos os consumidores, mesmo que não estejam conectados diretamente à Microrrede (PARHIZI, HOSSEIN, *et al.*, 2015).

Diversos aspectos podem ser avaliados para verificar a melhora na QEE da rede elétrica através do uso de Microrredes. Aspectos técnicos como a melhora dos níveis de tensão elétrica atendendo os padrões aceitáveis para uso do consumidor através da implantação de uma Microrrede com controle eletrônico da tensão por potência reativa, são vistos em (LEONE, NETO e V. JUNIOR, 2018). Outro aspecto é o estudo do gerenciamento de energia de uma Microrrede através da alimentação da rede por um sistema fotovoltaico e banco de baterias (KANCHEV, LU, *et al.*, 2011). Em DASH, BEHERA, *et al.* (2018), os autores propõem as condições econômicas relativas às Microrredes elétricas com a aplicação de fontes renováveis e não renováveis, e ainda fazem uma análise da sensibilidade usando o software HOMER PRO para comparar os custos de implantação e operação das várias fontes de energia para geração elétrica.

Já em QUIROGA, KAGAN, *et al.* (2016), os autores fizeram um estudo comparando a inserção de GD's na SDEE utilizando fontes renováveis fotovoltaica e eólica, onde demonstraram que os impactos na QEE da rede em baixa tensão provocados pela fonte solar, devido ao menor aproveitamento diário desta fonte, são maiores se comparados à fonte eólica.

É importante destacar que as Microrredes têm impacto também nas questões sociais tanto em sistemas interligados ao SDEE (contribui com a melhoria da QEE e continuidade de fornecimento para regiões socialmente vulneráveis, as quais possuem redes elétricas com maior probabilidade de baixa QEE), mas também em regiões isoladas (não interligadas ao SDEE), já que a necessidade da energia elétrica deve ser entendida como um direito humano, a qual deve ser entregue aos consumidores com qualidade e com continuidade. Sendo assim, as Microrredes se colocam como uma forma de disponibilizar sistemas elétricos confiáveis com benefícios de interconexão com grandes aplicações em algumas redes específicas, como por exemplo, redes rurais ou aqueles circuitos distantes da rede principal. As Microrredes também permitem contribuir de forma positiva no desenvolvimento energético e no aumento da qualidade de vida dessas comunidades CUZNER (2018). Nesse sentido, o mesmo efeito social positivo tem sido verificado com o projeto do governo federal do Brasil intitulado “Luz para Todos”, onde regiões distantes da rede principal são atendidas com GD's com geração fotovoltaica. A chegada da eletricidade nessas regiões proporciona benefícios sociais para os consumidores locais, melhorando a qualidade de vida, diminuindo o analfabetismo, melhorando as condições para o cuidado da saúde e trazendo maior acesso à informação. No programa, além da iluminação de escolas, pode entregar água potável para a escola e outras casas por bombeamento fotovoltaico (DINIZ, FRANCA, *et al.*, 2006).

Os impactos econômico-sociais pela implantação de uma Microrrede, são demonstrados na melhoria efetiva da qualidade de vida dos moradores de regiões afastadas, com a criação de postos de trabalho e ampliação da renda, na melhoria do acesso à água de qualidade, saúde, no empoderamento feminino JHA, STOA e UHLEN (2016), além de ampliar o desenvolvimento tecnológico dessas regiões em diversas localidades do mundo (SOORIYAARACHCHI, TSAI, *et al.*, 2015) (DVOŘÁK, MARTINÁT, *et al.*, 2017).

Os benefícios da utilização de Microrredes elétricas podem ser averiguados por vários métodos, alguns casos utilizam indicadores técnicos como apresentado em BANDEIRA, VIEIRA e GUERRA (2020) ou econômicos como apresentado em DASH, BEHERA, *et al.* (2018), no que se avalia o desempenho de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. Para isso, os níveis de tensão, distorções harmônicas, e valores de fator de potência podem ser utilizados como indicadores de desempenho com o intuito de verificar se eles estão dentro dos

padrões técnicos estabelecidos pelos órgãos reguladores. Nesse sentido, ferramentas computacionais como o OpenDSS ou HOMER Pro<sup>3</sup> podem auxiliar aos estudos das questões técnicas e econômicas de uma Microrrede e seu impacto na rede principal.

Em CASILLAS, KAGAN, *et al.* (2017), foi proposta uma metodologia utilizando o software OpenDSS para determinar a localização de instalação de equipamentos no SDEE como, reguladores de tensão e banco de capacitores além de sistemas fotovoltaicos para GD e armazenamento de energia.

Projetos de Microrredes analisados pelo software HOMER Pro são diversos, como em CATUOGNO, TORRES, *et al.* (2019) que faz o dimensionamento, a otimização e a seleção dos componentes que constituem uma Microrrede com fontes renováveis de energia em regiões remotas. Os autores destacam o caso de uma escola com o consumo elétrico de 4,39 kWh/dia, distante 12,8km da rede principal que atende a região, onde, com o auxílio do software HOMER Pro, foi efetuado o dimensionamento e a análise de uma Microrrede com geração distribuída por fontes eólica, solar e gerador a diesel, com armazenamento de energia e conectada à rede principal, possibilitando as configurações possíveis e o custo de cada uma dessas configurações. A utilização do HOMER Pro também é encontrada em KUMAR e BHIMASINGU (2015) para a aplicação em uma grande carga de um edifício em área urbana, onde o autor buscou a melhor alternativa para gerenciar as diversas cargas por meio do estudo para a transformação do edifício em uma Microrrede conectada à rede principal com o incremento de novas fontes renováveis.

Na bibliografia procurada, observa-se que os indicadores técnicos, econômicos e sociais apresentam escalas e unidades diferentes, constituindo um desafio no tratamento conjunto de forma a obter um indicador geral, o qual permita quantificar a atratividade da instalação de Microrredes tendo em consideração as ponderações individuais de cada um dos indicadores. Nesse aspecto, diversos estudos foram realizados utilizando a lógica Fuzzy nas tomadas de decisão para a área de serviços de eletricidade, como no controle do gerenciamento, faturamento ou produção da energia elétrica. Nesse sentido pode ser destacado o exemplo de FEKRY, ELDESOUKY, *et al.* (2020), os autores propõem a criação de um controlador Fuzzy no gerenciamento em sistema híbrido isolado de geração de energia elétrica para alimentar uma residência por duas fontes renováveis, eólica e solar e uma geração tradicional (GD). O

---

<sup>3</sup> Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables, O HOMER Pro é um software que otimiza o design da microrrede e tem a tarefa de avaliar projetos para sistemas de energia *off-grid* e conectados à rede (HOMER ENERGY, 2020).

controlador Fuzzy apresenta três entradas, velocidade do vento, irradiação solar e temperatura ambiente, e a saída para identificar a potência mecânica do rotor para completar a energia de uma residência pela GD com o objeto de melhorar a qualidade da energia ofertada.

Em ZHOU, HU, *et al.* (2019), é proposto um algoritmo *Fuzzy* de q-learning para auxiliar na tomada de decisões em um modelo comunitário para permitir bairros comercializarem energia excedente. Isso é feito para maximizar a utilização de energia renovável através de um mecanismo de preços da energia com base na relação demanda-vs-excedente.

*Tabela 1 - Critérios de seleção para instalar PV*

Local	Critério - Peso (%)						
	Ambiental	Localização	Econômico	Climático	Orografia	Social	Risco
Murcia-Espanha	5,6	48,6		28,6	17,3		
Isfahan-Irã		9,6		73,7	10,1	6,6	
Marrocos oriental		17,5		59,0	23,5		
Mauricius		15,8		58,1	26,1		
Arábia Saudita	10,8	16,3		56,5	16,3		
Vários estados dos EUA		55,3		23,4	21,3		
Marrocos do Sul	5,0	13,0		64,0	18,0		
Índia	3,0	31,6	18,3	14,8		7,5	24,7
Oeste da África		53,1		46,9			
Sudeste do Irã	7,0	8,0		57,0	28,0		

Fonte: Adaptado de (ZAMBRANO-ASANZA, QUIROS-TORTOS e FRANCO, 2021)

Sendo assim, diversas metodologias estão sendo pesquisadas com a finalidade de averiguar regiões potenciais para implantação de Microrredes elétricas, adotando-se critérios técnicos, econômicos, ambientais utilizando diferentes pesos, destacando-se em poucos estudos a relevância dos critérios sociais. Os estudos de ZAMBRANO-ASANZA, QUIROS-TORTOS e FRANCO (2021), mostrados na Tabela 1, os quais avaliam projetos com os critérios e pesos mais utilizados para a avaliação das Microrredes. A tabela mostra sete critérios, o ambiental o qual relacionado ao uso do solo onde será instalado a geração distribuída; a localização relacionada à distância das linhas de transmissão de energia elétrica, à distância de estradas e áreas urbanas; o econômico relacionado ao custo de implantação do sistema; o climático relacionado às condições climáticas para aproveitamento de fontes eólica e solar para a geração elétrica; o orográfico relacionado à condição do terreno de construção (quanto mais plano for o terreno, melhor o valor do critério); o social relacionado às condições sociais para o aproveitamento do trabalho e desenvolvimento social; e os riscos que está relacionado aos riscos do projeto. Dentre eles, somente em dois locais, o aspecto social foi considerado e com

pesos abaixo de 8%. Isso evidencia a necessidade em abordar o aspecto social dentro da tomada de decisão para a instalação de Microrredes.

Dentro do Programa Luz para Todos do Governo federal, diversas regiões que antes não tinham atendimento por energia elétrica passam a ter. Exemplo disso está no projeto que levou energia elétrica para a Ilha de Lençóis no Maranhão que atendeu a todas as 89 residências da comunidade em um projeto de Microrrede composta por geração elétrica a partir de fontes solar-eólica-diesel e armazenamento de energia com potência instalada de 40 kW. Outro sistema foi implantado na ilha de Tamaruteua no Pará, sendo que a geração também por fonte solar, eólica e a diesel com bando de baterias, garantindo 51 kW de potência no sistema (MME, 2020).

### 3 MICRORREDES

Segundo FUSHENG, RUIHENG e FENGQUAN (2016), uma Microrrede é um simples, controlável e independente sistema de energia compreendendo GD, cargas, sistema de armazenamento de energia (AE) e dispositivos de controle, todos do lado do consumidor e conectados entre si. Com isso, na Microrrede, a GD e o AE estão diretamente conectados em paralelo no lado do consumidor. Do ponto de vista da rede elétrica convencional, a Microrrede pode ser considerada como uma célula controlada. Para o lado do consumidor, a Microrrede pode ser considerada um elemento essencial para atender as suas demandas exclusivas, com menor perda no alimentador e maior confiabilidade local. Sendo assim, a Microrrede tem a capacidade de controle autônomo, proteção e gerenciamento, já que ela pode operar em paralelo com a rede elétrica principal ou no modo ilhado (HATZIARGYRIOU, ASANO e IRAVANI R, 2007). Como definição segundo a ANEEL, Microrrede é uma rede de distribuição de energia elétrica que pode operar isoladamente do sistema de distribuição, atendida diretamente por uma unidade de geração distribuída (ANEEL, 2015).

Uma característica importante de uma Microrrede é a capacidade de obter um equilíbrio da geração de energia elétrica e do consumo local (FUSHENG, RUIHENG e FENGQUAN, 2016), o que pode consistir em uma ou mais plantas de geração virtual de energia. O termo “geração virtual” pode ser considerado como um conjunto de GD’s, com ou sem armazenamento, como se fossem uma única fonte de energia limpa e sustentável (STAROSTA, 2010). Esta geração virtual de energia deverá atender os centros de carga, que podem ser escritórios, fábricas ou residências distantes da rede elétrica de distribuição tradicional.

Para o CERTS<sup>4</sup>, o conceito de Microrrede é uma agregação de cargas e microgeradores que opera como um único sistema, fornecendo energia e calor, baseada em eletrônica de potência para monitorar e gerenciar o sistema da Microrrede. Nesta configuração, a Microrrede fornece a flexibilidade para garantir a operação em um sistema único, o que atende as necessidades locais de confiabilidade e segurança (LASSETER, AKHIL, *et al.*, 2003).

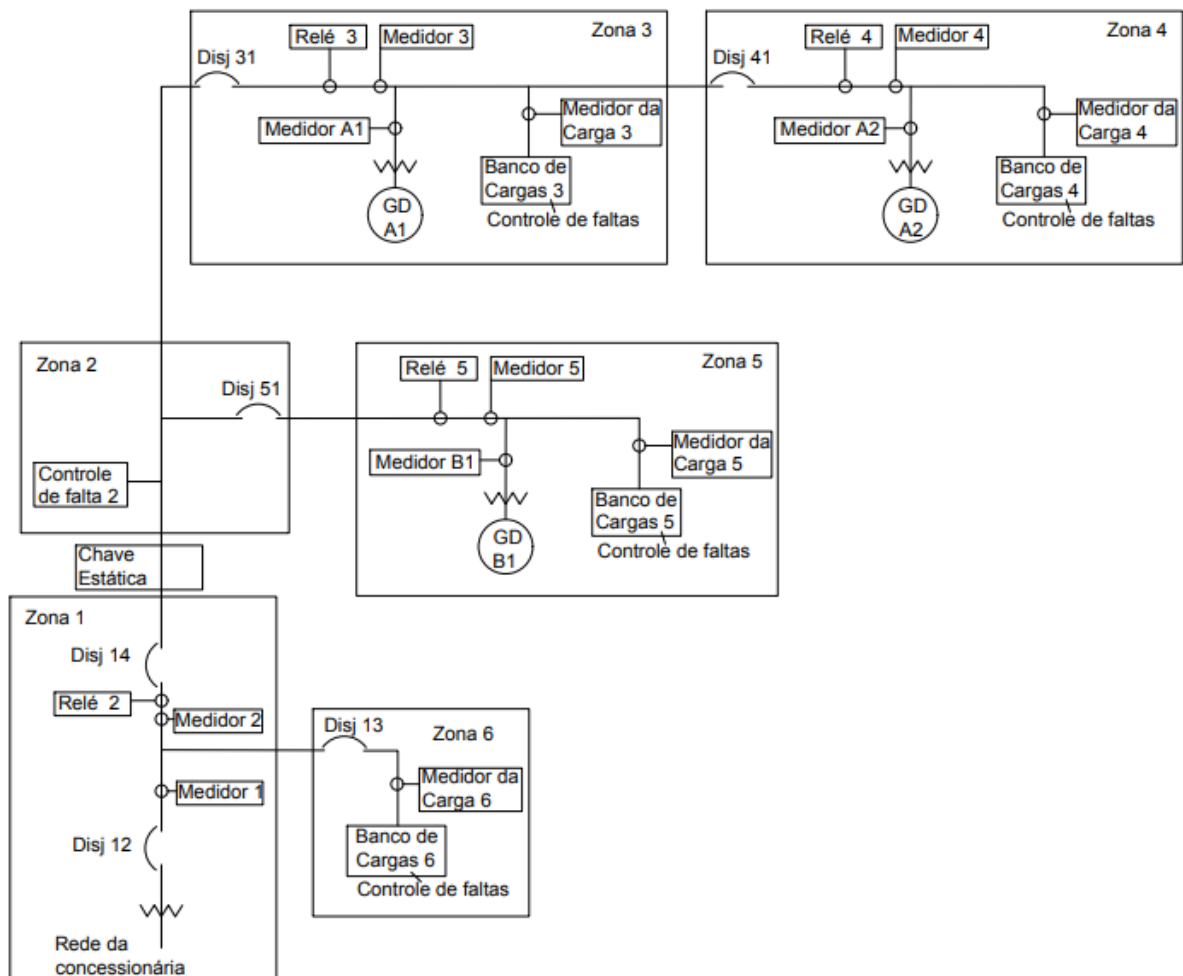
Em ETO, *et al.* (2018), o autor faz uma análise do conceito de Microrredes da CERTS. Para isso, uma bancada de testes foi elaborada para reproduzir as o comportamento de uma Microrrede. Na bancada, os microgeradores são formados por fontes de geração local, incluindo fotovoltaico, eólica, pequenas máquinas rotativas e diferentes tipos de sistemas de

---

<sup>4</sup> CERTS - Consortium for Electric Reliability Technology Solutions

armazenamento de energia. A Figura 1 apresenta uma Microrrede composta por três microgeradores A1, A2 e B1 que são conectados a transformadores de isolamento e fazem interface com a Microrrede por um inversor, o qual tem os algoritmos de controle da Microrrede. Além disso, o esquema tem quatro bancos de cargas (3, 4, 5 e 6). O equipamento principal é uma Chave Estática inteligente, que controla a conexão e a desconexão da Microrrede para a rede principal. Para cada tipo de microgerador, as proteções digitais dos relés inteligentes 2, 3, 4 e 5 são usadas para isolar a área protegida das falhas e o equipamento de proteção é interconectado por meio de links de comunicações digitais especiais. Uma rede de comunicação conecta os Medidores entre si e para um computador central e desse para as chaves comutadoras e chave estática, dessa forma permite o monitoramento e gerenciamento de toda a Microrrede.

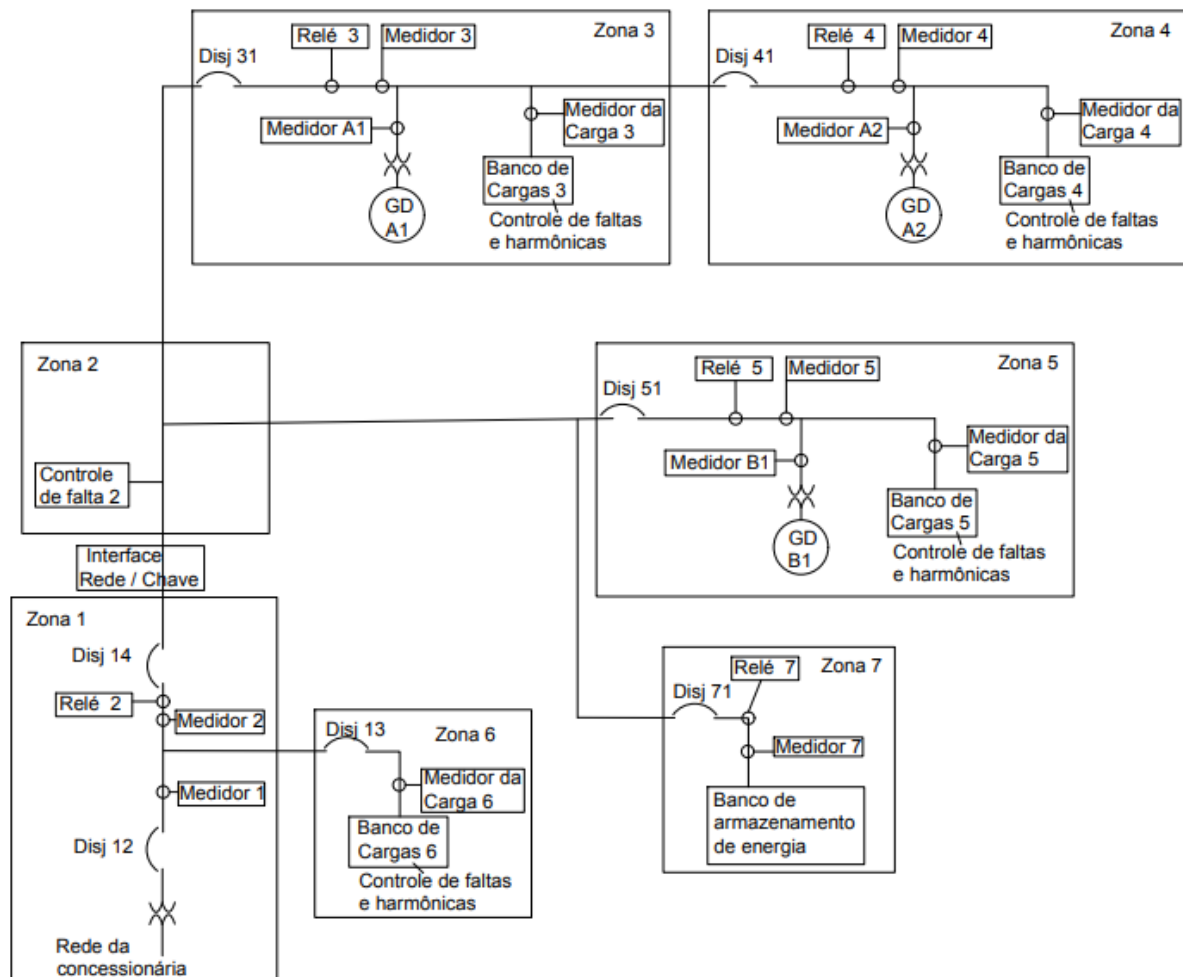
Figura 1 - Modelo de Microrredes proposta pela CERTS



Fonte: Adaptado de (ETO, LASSETER, *et al.*, 2018)

Além disso, em ETO, *et al.* (2018), os autores apresentaram uma estrutura modificada para o conceito de Microrredes CERTS, onde a bancada de testes foi alterada para incorporar novos equipamentos. A Figura 2 mostra o diagrama simplificado de uma linha da configuração final modificada para a bancada de testes, onde há a incorporação de um banco de armazenamento de energia na zona 7 e medidores inteligentes que além de monitorar faltas de energia no sistema, também monitoram as cargas harmônicas inseridas no sistema, obtendo-se assim um monitoramento mais completo do sistema proposto pela CERTS, com maior gerenciamento e proteção.

Figura 2 - Modelo de Microrredes CERTS modificado em 2018



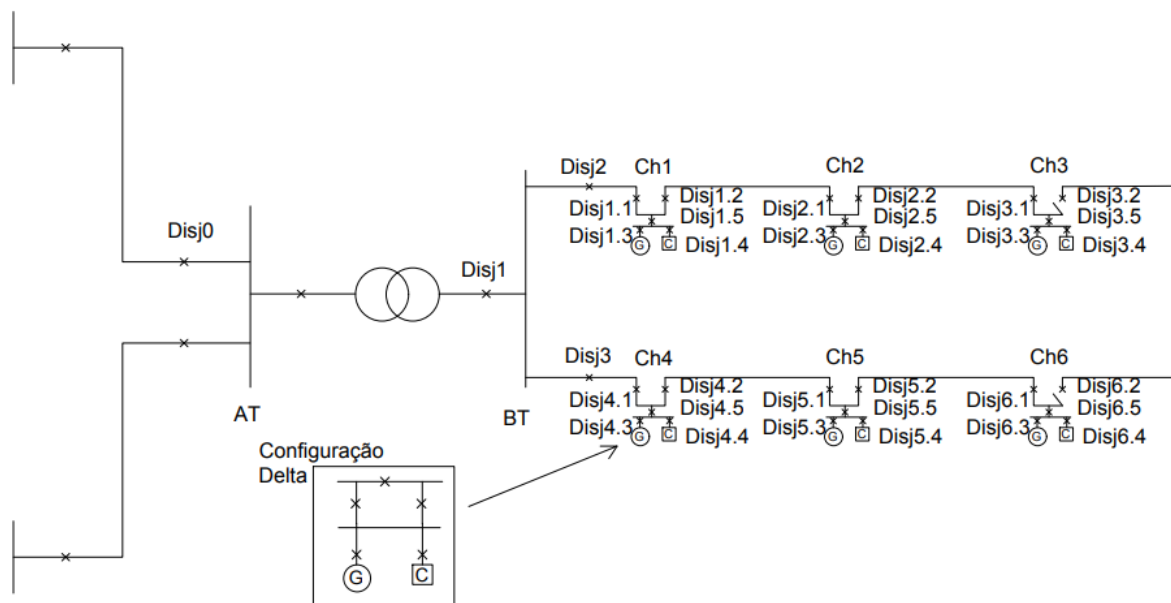
Fonte: Adaptado de (ETO, LASSETER, *et al.*, 2018)

A Figura 3 demonstra a estrutura proposta para Microrredes pela União Europeia (adaptada de FUSHENG, RUIHENG e FENGQUAN (2016)). Nessa estrutura, todas as microgerações possuem interfaces utilizando a eletrônica de potência, equipamentos de



proteção, chaves comutadoras CB (*circuit breaker*), além disso, todos os elementos de monitoramento, comutação e proteção são digitais e inteligentes e a comunicação entre os equipamentos é via rede do controlador (CAN). O monitoramento pode ser configurado para o sistema centralizado ou descentralizado. No monitoramento centralizado, a unidade central de monitoramento se comunica com vários comutadores, fornece ordens e define o intervalo de ação do comutador. O modo de monitoramento é fácil e de baixo custo, mas há a desvantagem de que a operação de todos os comutadores depende do sistema de proteção. Um sistema de monitoramento descentralizado é composto por várias unidades centrais de monitoramento que cumprem diferentes funções. Quando uma unidade falha, as outras assumem automaticamente o controle, evitando o colapso do sistema. Este modo oferece alta confiabilidade, mas exige maiores investimentos.

*Figura 3 - Modelo de Microrredes proposta pela União Europeia*



Fonte: Adaptado de (FUSHENG, RUIHENG e FENGQUAN, 2016)

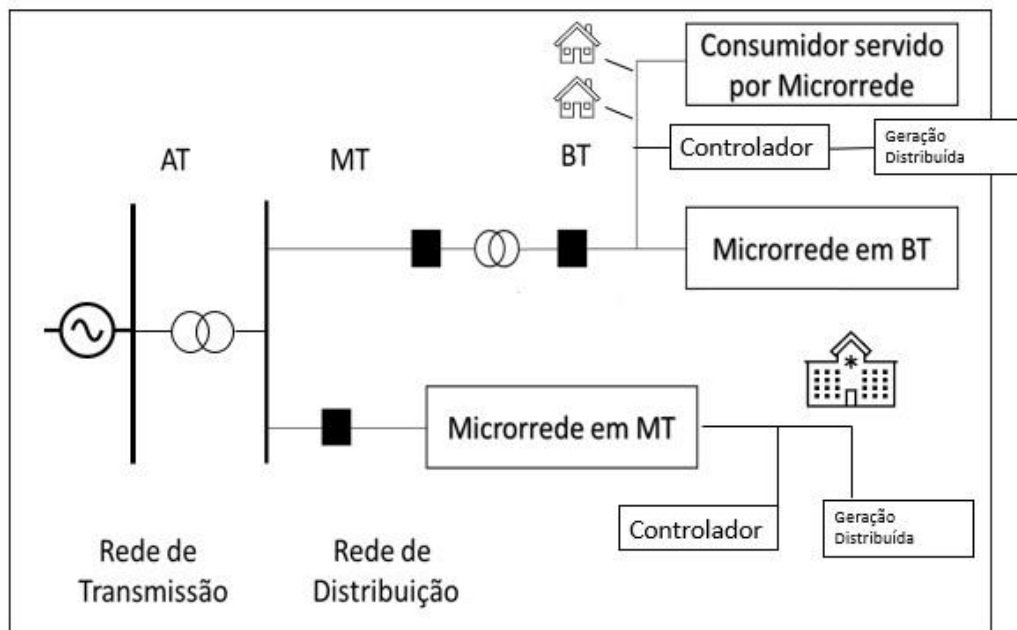
### 3.1 DEFINIÇÃO DE MICRORREDE

Na literatura existem várias definições sobre o conceito de Microrrede, muitas delas convergem em aspectos estruturais e de aplicação, sendo assim este trabalho utiliza a seguinte definição:

*“Microrredes elétricas são redes elétricas de pequenas extensões, isoladas ou interligadas à rede principal, mas que possam operar de modo ilhado, energizadas por geração distribuída, com dispositivos de monitoramento, controle e gerenciamento, e que alimentam um consumidor ou um conjunto de consumidores em tensão e frequência adequadas de utilização, podendo também injetar ou receber energia elétrica através do ponto de acoplamento comum com a rede principal”* (FUSHENG, RUIHENG e FENGQUAN, 2016), (HATZIARGYRIOU, ASANO e IRAVANI R, 2007), (ETO, LASSETER, *et al.*, 2018) (CHOWDHURY, CHOWDHURY e CROSSLEY, 2009) (LASSETER, AKHIL, *et al.*, 2003) (LASSETER, 2011).

Por meio dessa definição, as Microrredes elétricas representam redes de pequenas extensões, que transmitem a energia elétrica para atender a um consumidor específico ou um conjunto de consumidores em condomínios ou cooperativas, em qualquer faixa de tensão e podem ser interligadas à rede principal ou isoladas. O início da Microrrede será no ponto de conexão com a SDEE, ou seja, o ponto de acoplamento comum com a rede principal, como exemplo, na Figura 4 demonstra que se a conexão for na rede de distribuição de energia em média tensão, o início será na subestação AT/MT ou em uma ramificação da rede principal. Se for em baixa tensão, o início será na estação transformadora MT/BT, uma ramificação da baixa tensão ou diretamente na entrada de energia do consumidor. A Figura 4 também mostra os pontos de GD e controladores próximos aos consumidores.

*Figura 4 - Conexão e Definição de Microrredes*



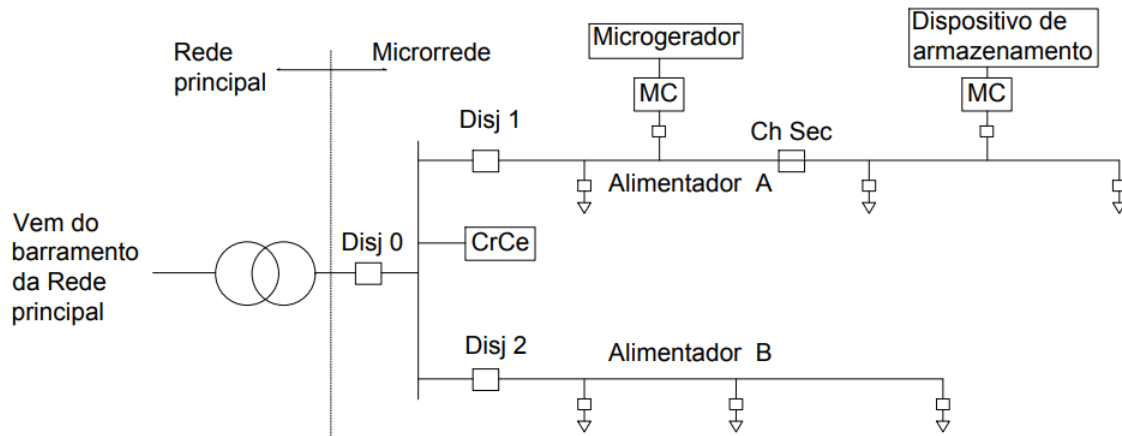
Fonte: Autoria própria

### 3.2 CONTROLE E GERENCIAMENTO DAS MICRORREDES

Conforme CHOWDHURY, CROSSLEY e CHOWDHURY (2009), as Microrredes requerem controle de faixa ampla para garantir a segurança do sistema, a operação ideal, a redução de emissão de gases de efeito estufa e a transferência direta de um modo operacional para outro (de modo conectado para ilhado e vice-versa), sem violar as restrições operativas do sistema e os requisitos regulamentares. A Figura 5 ilustra o ajuste obtido por um controlador central (CrCe), por controladores dedicados dos Microgeradores (MCs) e por dispositivos de armazenamento. As MCs cuidam das funções de controle local do microgerador, enquanto o CrCe executa o controle geral da operação e proteção da Microrrede enviando ordens aos MCs. Sua principal função, é manter a qualidade da energia e confiabilidade através do controle de frequência, tensão e coordenação de proteção. Também executa o gerenciamento econômico das microfones, verificando se a entrada do gerador está dentro dos parâmetros comerciais adotados, custo de geração por venda da energia gerada, além disso, ajuda a manter o consumo de energia da rede elétrica principal dentro dos valores mutuamente acordados. Assim, o CrCe não apenas coordena o esquema de proteção para toda a Microrrede, mas também fornece o despacho de energia e a tensão definida para que todos os MCs atendam às necessidades dos

clientes. Assim, o CrCe garante a otimização de energia para a Microrrede e mantém a frequência especificada e o perfil de tensão para as cargas elétricas.

*Figura 5 – Esquema de controle das Microrredes*



Fonte: Adaptado de (CHOWDHURY, CHOWDHURY e CROSSLEY, 2009)

Uma característica importante das Microrredes é que, por estarem energizadas através de GD, estas podem otimizar a rede elétrica como um todo, por intermédio dos controladores destas GD, ou seja, podem controlar a injeção de potência ativa e reativa, tensão adequada para equilíbrio com a rede de interligação ou outros elementos que melhorem a QEE nas redes elétricas. Porém, com a inserção massiva das Microrredes, isso poderá provocar um certo desequilíbrio, caso haja interligação à rede principal do sistema elétrico, ocasionado por geradores monofásicos ou pela necessidade de alimentar cargas não suportadas pela potência disponível do GD. Lembrar que o sistema elétrico, na sua grande maioria, segue um caminho radial, da geração centralizada até o consumidor final, porém, nas Microrredes com GD's, a inserção de energia elétrica passa a ser realizada em diversas direções. Outro aspecto é pela injeção de reativos, que pode ocasionar certos distúrbios de estabilidade à rede elétrica.

### 3.3 MICRORREDES NO MUNDO

Segundo FUSHENG, RUIHENG e FENGQUAN (2016), vários projetos têm sido elaborados ao redor do mundo e estão dando suporte às técnicas e uso das Microrredes. Um caso é nos Estados Unidos, no qual, o *The Department of Energy* (DOE) publicou os resultados do programa “Grid 2030”. Neste programa há diversos estudos e planos dos sistemas de energia além da demonstração de um esquema de Microrredes, onde, com a modernização da rede

elétrica, pretende-se a melhoria da confiabilidade para atender cargas críticas, e necessidades específicas, minimizando custos da energia elétrica.

Ainda em FUSHENG, RUIHENG e FENGQUAN (2016), o Japão está implementando múltiplos projetos de Microrredes. Foi instituído o conceito de *Flexible Reliability and Intelligent Electrical Energy Delivery* (FRIENDS), que pretende adicionar sistemas flexíveis de transmissão de energia em CA à rede de distribuição aproveitando ao máximo as vantagens do controle rápido e flexível, além de otimizar e atender as diversas demandas de energia, considerando inclusive incluir sistemas interligados de calor e energia elétrica para melhorar a compatibilidade com o meio ambiente e a eficiência no uso das energias. Enquanto, que a União Europeia propôs em 2005 e realizou estratégias em 2006 para o programa “*Smart Power Networks*”, que busca uma sinergia entre a geração de energia centralizada e a geração de energia distribuída para serem usadas nas RED’s. Segundo CALLEJO (2019), existem diversos projetos em grande escala de Microrredes elétricas na Europa como na Holanda, o projeto de Bronsbergen, um projeto residencial que atende 250 residências sendo 100 destas incorporadas com sistemas fotovoltaicos e capacidade conjunta de 315 kW. Outro projeto está na Alemanha, o Mannheim, estabelecido no distrito de Wallstadt, é um projeto baseado em fotovoltaico com armazenamento de energia e atende 580 habitações formadas por consumidores e prosumidores. O sistema é alimentado por três transformadores com potência de 400 kVA cada conectados à rede principal pela média tensão.

Na China foram estabelecidos programas de desenvolvimento das Microrredes como o Programa 863 e o Programa 973. Estes programas incluem o investimento em novas tecnologias para a inclusão das Microrredes no sistema de suprimentos e distribuição de energia elétrica. Vários estudos foram realizados como um arranjo de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica de 50 kW combinado com seis turbinas eólicas para geração de eletricidade com capacidade de 12 kW além do armazenamento de um banco de baterias de 30 kW/60 kWh para uma estação de carregamento de veículos elétricos (FUSHENG, RUIHENG e FENGQUAN, 2016).

Na América Latina existem diversas iniciativas para o desenvolvimento das Microrredes. Segundo BERTINAT (2020), na Argentina vêm sendo desenvolvido o Projeto de Energias Renováveis em Mercados Rurais (PERMER), com a inclusão de Microrredes com fontes renováveis que possibilitam acesso à população rural distante da rede de distribuição convencional. Conforme CATUOGNO (2019) outro projeto possibilitou a construção de uma Microrrede para atender uma escola rural em outra região.

### 3.4 MICRORREDES NO BRASIL

Com a expansão das GD's no setor elétrico nacional, aos poucos as Microrredes começam a ser implantadas no país. Algumas iniciativas vêm sendo executadas, como é o caso do projeto-piloto de um condomínio residencial pelos arredores de Fortaleza pelas empresas Enel X e Enel Distribuidora Ceará, conseguindo uma economia equivalente a 30% do consumo de energia local (ENEL, 2020). Segundo ENEL (2020), o sistema é baseado em fontes de energia renovável com banco de baterias, painéis solares e sistema de gerenciamento para abastecer 21 residências do condomínio. O sistema é monitorado e interligado ao SDEE. Outro projeto recente é o de uma granja no oeste do estado do Paraná, que é produtora de energia elétrica através do biogás, onde as empresas Copel e Itaipu instalaram uma Microrrede interligada à rede de distribuição da própria Copel (ITAIPU, 2019).

As Microrredes podem também ser responsáveis por energizar regiões mais afastadas de forma não interligada e perfazendo assim um papel totalmente social, à medida que a energia elétrica gera trabalho e, portanto, riqueza. Um exemplo disso é a implantação de Microrredes pela empresa Neoenergia em regiões no interior da Bahia no âmbito do projeto Luz para todos, que visa trazer benefícios para uma região com difícil acesso da rede de distribuição principal de energia elétrica, devido a mata existente. Está planejado para iniciar as operações em 2021 na comunidade de Xique-Xique e será baseado em geração fotovoltaica com banco de baterias. (NEOENERGIA, 2020).

*Tabela 2 - Microrredes nas redes principais: benefícios e dificuldades*

Benefícios	Ações
Uso de fontes com geração renovável e próxima ao consumidor	Possibilita o gerenciamento e o armazenamento de energia localmente.
Autossuficiência energética dos consumidores	Elimina a necessidade de conexão permanente com a rede principal.
Impacto Social local da implantação	Propicia o desenvolvimento econômico, social e tecnológico da região
Cadeia produtiva	Criação de toda uma cadeia produtiva, onde novas pesquisas e novos equipamentos deverão ser considerados, contribuindo tanto para o campo educacional como para o campo industrial onde estes equipamentos deverão ser fabricados.
Dificuldades	Ações
Financeiro	Acesso difícil para obtenção de financiamentos para implantação e ampliação das instalações necessárias para as Microrredes.
Custos	Ainda elevados para equipamentos de eletrônica de potência, geração e proteção
Normas	Falta um marco regulatório para implementar e operar as Microrredes.
Operação bidirecional	A rede principal passa a ter uma característica bidirecional de energia elétrica, necessitando a adequação do sistema de proteção, instalação de equipamentos para o controle da tensão elétrica no ponto de acoplamento da Microrrede com a rede, por exemplo.
Fontes renováveis	Há intermitência na energia produzida por fontes renováveis devido às condições climáticas, necessitando de geração complementar ou armazenamento.
Mão de obra	Por se tratar de um novo mercado, a mão de obra ainda deverá ser treinada para as novas especificações.
Relação com empresas concessionárias de energia	Dificuldade da aceitação das Microrredes com GD's pelas empresas distribuidoras de energia por questões técnicas, mas principalmente econômicas, já que podem impactar negativamente nos negócios das distribuidoras de energia tradicionais, devido ao desequilíbrio da receita dessas empresas, pois parte da energia será suprida pelas Microrredes e não mais pelas empresas distribuidoras de energia.

Fonte: (CHOWDHURY, CHOWDHURY e CROSSLEY, 2009), (FARIAS, 2018), (BELLIDO, 2018), (RODRIGUES e CONTI, 2017), (BRONIN e MCCAR, 2013), (OLIVEIRA, 2017)

Ainda quanto ao formato de negócio, as Microrredes, também podem ser aproveitadas em sistema de condomínio, valorizando as condições socioeconômicas das regiões de baixa renda com a instalação de equipamentos de geração de energia por fontes renováveis. Iniciativas

de instalação de GD's com geração de energia elétrica a partir do sol estão sendo realizadas, como é o caso do projeto em comunidades na cidade do Rio de Janeiro, onde a ONG Revolusolar planejou uma instalação de 26 kWp que atenderá 30 famílias em forma de cooperativa e deve empregar 10 pessoas durante a implantação (ARAÚJO, 2020). Em um modelo de Geração Compartilhada com formato de cooperativa, a ONG Revolusolar será responsável e detentora dos ativos (equipamentos de geração) e poderá realizar a locação desses ativos para a cooperativa, a ONG Revolusolar receberá um valor calculado na taxa de manutenção enquanto os cooperados serão creditados pelo resultado da geração de energia elétrica produzida.

### 3.5 CARACTERÍSTICAS DAS MICRORREDES: BENEFÍCIOS E DIFICULDADES

Dentre as características da implantação das Microrredes no SDEE, destacam-se os seguintes benefícios e dificuldades, conforme Tabela 2. Benefícios como o uso de fontes renováveis e próximos ao consumidor minimizando os custos da energia elétrica e auxiliando o meio ambiente com menores emissões de carbono na atmosfera. A autossuficiência permite maior independência da SDEE para que os consumidores se mantenham abastecidos pela energia elétrica. Há impacto social positivo no emprego e renda para os moradores do entorno nas regiões beneficiadas pela inserção das Microrredes, além do desenvolvimento tecnológico e principalmente na QEE das instalações elétricas que abastecem essas regiões, tornando essas redes mais seguras em se tratando da continuidade da energia elétrica e minimização das falhas de energia para essas regiões.

Como dificuldades há destaque para as questões dos custos elevados pela implantação dos sistemas das Microrredes; a falta de normatização desses sistemas por parte das agências reguladoras; as dificuldades técnicas principalmente relativas à bidirecionalidade dos fluxos de cargas nas redes elétricas; e a adequação da proteção e o controle. A aceitação por todos os agentes que atuam na área, como empresas distribuidoras de energia também é uma das dificuldades para a implantação das Microrredes.



## 4 MICRORREDES ELÉTRICAS E RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS

Uma Microrrede elétrica utiliza a energia gerada mediante pequenos geradores com aproveitamento dos recursos locais onde serão implantados, vista assim como GD. A soma da energia gerada por todas as GD's com a possibilidade de armazenamento elétrico distribuído permite a condição eficiente e sustentável da rede elétrica local conformado pela Microrrede elétrica. Sendo assim, os RED's fazem parte do sistema das Microrredes (CALLEJO, 2019). As RED ampliam os benefícios das Microrredes, como exemplo, se a geração for com GD fotovoltaica – que depende da disponibilidade da fonte solar, aliada ao armazenamento de energia incluindo controles avançados do sistema – aumentaria a confiabilidade do sistema e poderia atender cargas específicas (BELLIDO, 2018).

Os RED's são definidos como tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, localizados dentro dos limites da área de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades consumidoras, atrás do medidor. Sendo assim, os RED são compostos por GD, armazenamento de energia (AE), veículos elétricos (VE) com estrutura para recarga, eficiência energética e gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) (EPE, 2018).

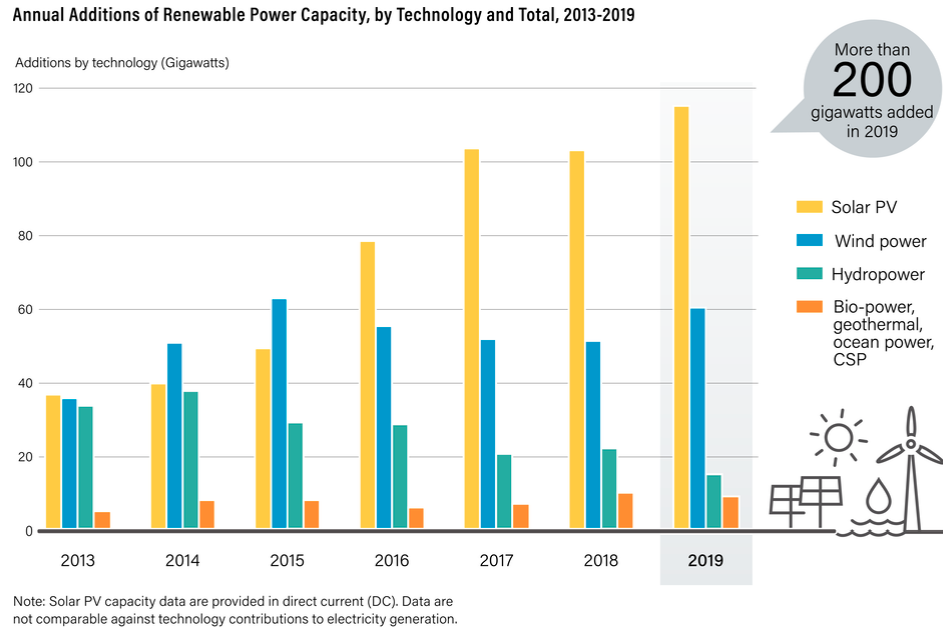
Um dos grandes benefícios dos RED's é a possibilidade do consumidor atuar ativamente da operação do SDEE, interferindo de forma a se beneficiar pela diminuição dos gastos da energia elétrica consumida. Esses tipos de consumidores passam a ser denominados “prossumidores” (EPE, 2018). Por outro lado, os maiores desafios para a implantação de RED's se encontram no formato dos investimentos em infraestrutura, também no modo de leitura e cobrança das faturas de energia, além do desequilíbrio financeiro provocado pela GD quando na remuneração dos custos das distribuidoras, pois as elas devem manter os seus custos fixos já que a infraestrutura permanece interligada à rede principal (EPE, 2018).

### 4.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Em termos globais, o incremento das fontes de energia renováveis para geração de energia elétrica vem aumentando a cada ano. Segundo o REN21 (2020), em torno de 200 GW de geração de energia renovável foram instalados em 2019, o que elevou ao total de 2.588 GW em termos globais. A Figura 6 ilustra a distribuição das novas instalações com fontes renováveis

de energia para geração elétrica no mundo. Da potência adicionada em 2019, destacam-se a de fonte solar com 115 GW, eólica com adição de 60 GW e a hidráulica com adição de 16 GW.

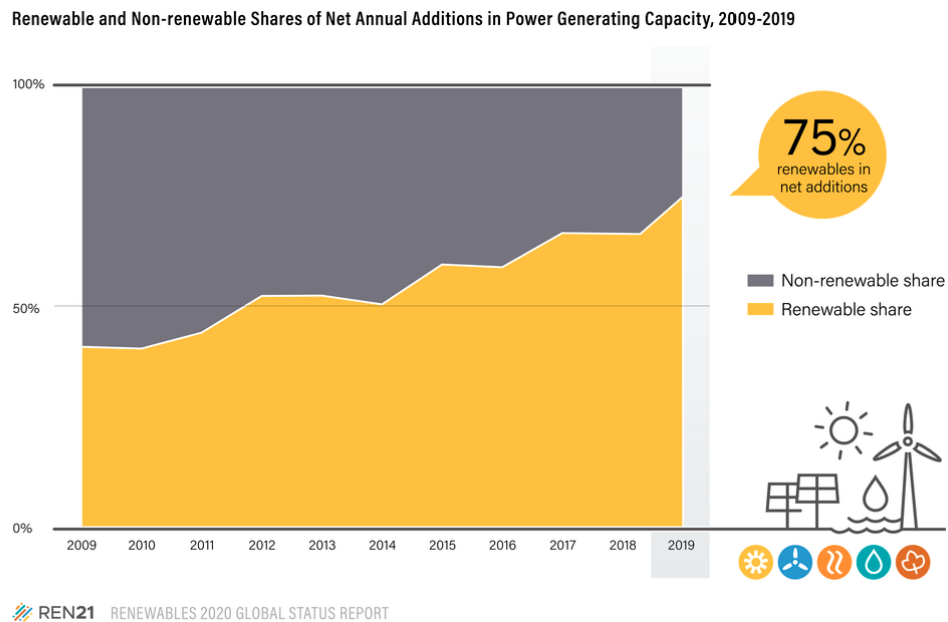
*Figura 6 - Acréscimo anual da capacidade de energia renovável*



Fonte: (REN21, 2020)

A Figura 7 mostra o crescimento mundial da capacidade de geração de energia por fontes renováveis ano a ano desde 2009 em comparação ao acréscimo de fontes não renováveis de energia. Percebe-se que na comparação das fontes de energia para geração elétrica, há um crescimento constante das fontes renováveis desde 2009, sendo que em 2012 passa a ser maior, pouco mais de 50%, que o uso por fontes não renováveis. Já em 2019 denota-se que a capacidade adicional de geração por fontes renováveis equivale a 75% do total, ou seja,  $\frac{3}{4}$  da capacidade de geração de eletricidade nova.

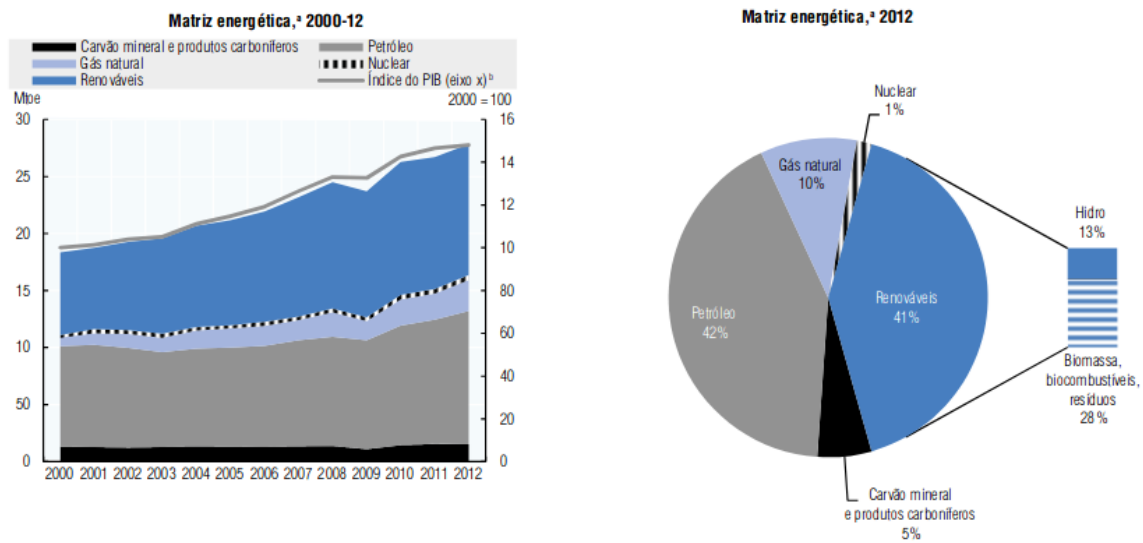
*Figura 7 - Comparação do crescimento da capacidade de geração de energia*



Fonte: (REN21, 2020)

A Figura 8 mostra o avanço da utilização das energias renováveis na Matriz Energética brasileira como um todo, bem como a elevação do uso da eletricidade em equivalência ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) e a paridade do poder de compra brasileiro. Percebe-se que conforme há crescimento do PIB e do poder de compra, há também crescimento do uso das energias na matriz energética brasileira com uma distribuição relativamente uniforme por cada uma das fontes energéticas utilizadas.

*Figura 8 - Matriz Energética do Brasil*



a) Total da energia primária. Desagregação exclui a comercialização de energia elétrica.  
 b) PIB a preços de 2005 e de paridade de poder de compra. Dados incluem estimativas.  
 Fonte: IEA (2014), *IEA World Energy Statistics and Balances* (banco de dados); OECD (2014), *OECD Economic Outlook No. 95*, *OECD Economic Outlook: Statistics and Projections* (banco de dados).

Fonte: (OCDE, 2015)

De uma forma geral, a GD pode ser obtida por fontes de energia renováveis como pequenas centrais hidrelétricas, geradores eólicos e fotovoltaicos e biomassas. O diferencial é que a geração está próxima da carga, ou seja, do consumo; portanto, pela menor distância entre estes dois elos, os custos com manutenção e perdas serão menores. Entre os tipos de GD, podem ser destacadas a geração fotovoltaica e a eólica:

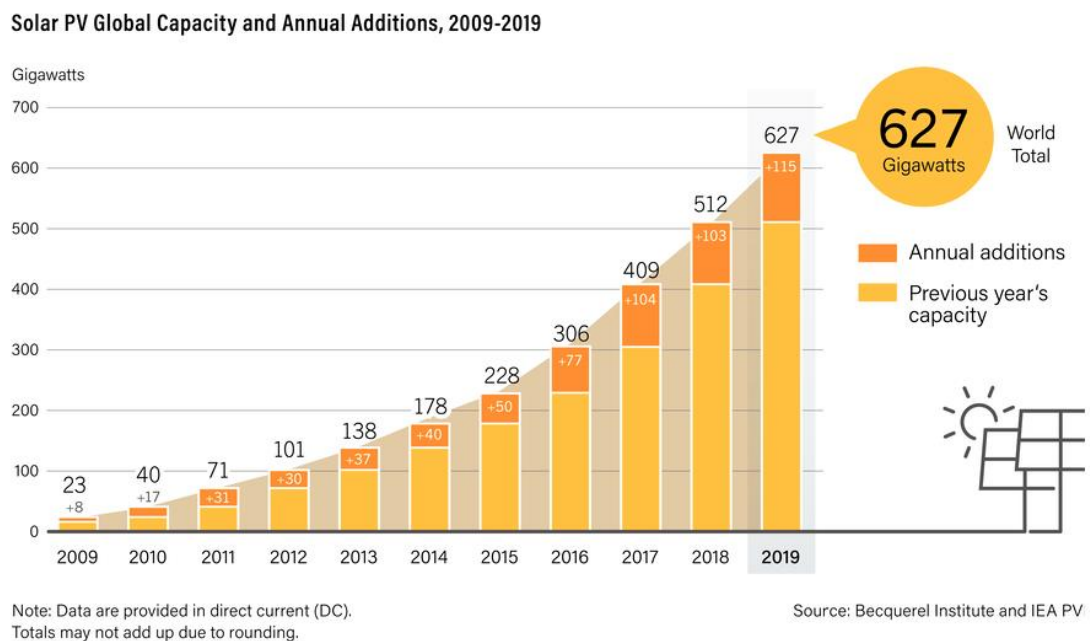
#### 4.1.1 Geração fotovoltaica.

Dado pela conversão direta da energia solar pela energia elétrica através de painéis solares. Outra forma de aproveitamento desta fonte para a eletricidade se dá pelo modelo heliotérmico, onde o fluido é aquecido pelo sol e através do vapor, se produz a energia elétrica. Tratando-se de GD, a forma utilizada predominante é a fotovoltaica, a qual vem ganhando espaço cada vez maior na matriz energética global, devido à redução de custos, aumento do aproveitamento técnico e por não emitir poluentes durante a sua operação (pode haver resíduos durante o processo de fabricação dos equipamentos).

Conforme demonstra o REN21 (2020), a demanda por energia solar fotovoltaica, vêm incrementando de forma exponencial, chegando à capacidade de 627 GW de potência de

geração no ano de 2019, como mostra a Figura 9, por causa das condições de competitividade desta forma de geração de eletricidade. Em 2019, 18 países ampliaram em ao menos 1 GW a capacidade instalada dessa fonte energética, o que faz a fonte fotovoltaica ser presente em países de todos os continentes, sendo que em 22 países, essa fonte representa a demanda de 3% da eletricidade, enquanto 12 países tinham a demanda de 5%.

*Figura 9 - Capacidade Global de Geração Fotovoltaica e Crescimento Anual: 2009-2019*



REN21 RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT

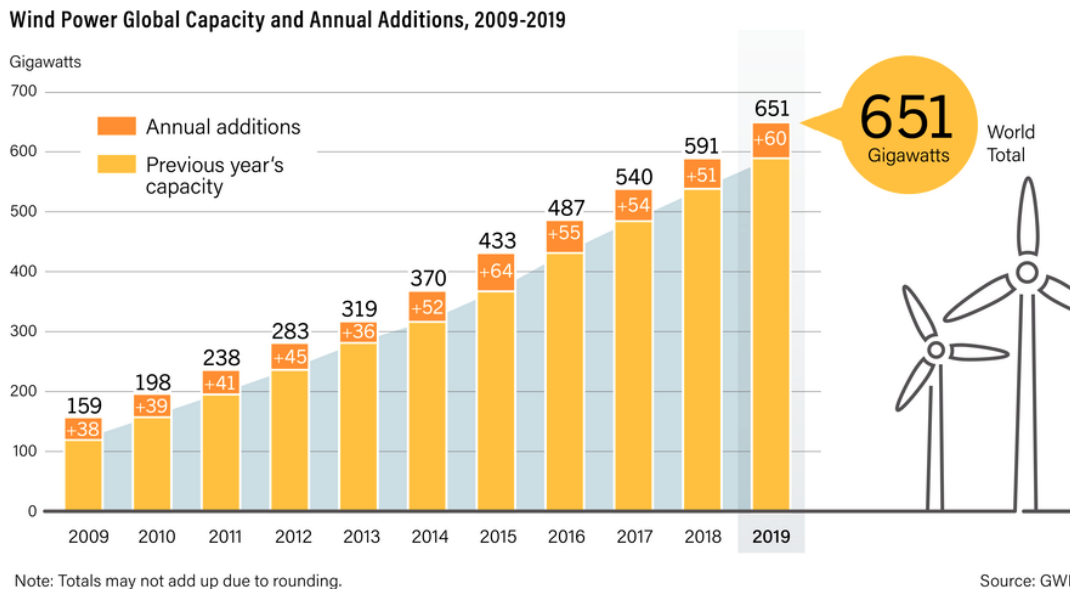
Fonte: (REN21, 2020)

Em termos financeiros, o preço dos módulos caiu cerca de 12% durante o ano de 2019, para uma média mundial de US \$ 0,36 por watt, mas com variações significativas no preço entre países (REN21, 2020). No caso do Brasil, na oferta de energia durante o leilão A-6, a energia solar fotovoltaica chegou ao preço médio final mais competitivo da eletricidade entre todas as tecnologias concorrentes (incluindo energia eólica e gás natural) a R\$ 67,48 (US\$ 16,48 dólares americanos em 2019) por MWh. Para efeito de comparação, o preço médio da energia gerada para os leilões no Brasil até o ano de 2019, é de R\$ 123,68 (US\$ 56,60) (ANEEL, 2021).

## 4.1.2 Geração Eólica

De um modo geral a geração de energia elétrica por meio de geradores eólicos se faz a partir da força dos ventos. Segundo REN21 (2020) ilustrado pela Figura 10, em 2019 a capacidade instalada de energia eólica aumentou de forma linear o total global em 10% para cerca de 651 GW, sendo 621 GW *on-shore* e o restante *off-shore*, ou seja, no mar, como mostra a Figura 10. Os custos em rápida queda por kWh tornaram a energia eólica cada vez mais competitiva em relação à geração de energia elétrica por fontes de combustíveis fósseis.

*Figura 10 - Capacidade Global de Geração Eólica e Crescimento Anual: 2009-2019*



REN21 RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT

Nota: Os totais podem não corresponder devido a arredondamentos.

Fonte: (REN21, 2020)

Para o REN21 (2020), o Brasil vinha aumentando a capacidade instalada ano a ano, porém houve uma queda no ano de 2019, mas manteve um crescimento maior que a tecnologia térmica. Em 2019 o Brasil tinha 15,5 GW de capacidade eólica em operação, o que representou 9,4% da geração elétrica no país. Em termos de custo, o Brasil teve uma das ofertas mais baixas vencedoras em leilão (excluindo a China) em 2019 (US\$ 20,8 por MWh). Na América Latina e no Caribe, o aumento nos leilões públicos ajudou a reduzir o preço médio da energia eólica da região em 46% de 2016 a 2019. Para efeito de comparação, o preço médio da energia gerada para os leilões no Brasil até o ano de 2019, é de R\$ 123,68 (US\$ 56,60) (ANEEL, 2021).

### 4.1.3 Geração à combustão

Este tipo de geração de energia elétrica é obtido por fontes de energia não renováveis, gás natural, diesel por exemplo. De forma geral, a geração a combustão se faz pela queima dos combustíveis fósseis, quando o gás proveniente dessa queima empurra um êmbolo que em movimento rotacional produz eletricidade. Por esses motivos, apresenta grande confiabilidade para usos em Microrredes, já que garante o fornecimento constante de energia elétrica. Porém, por usarem fontes não renováveis tem perdido espaço justamente pelo esgotamento dos combustíveis fósseis, além dos efeitos nocivos ao meio ambiente por causa da emissão de CO<sub>2</sub> (gás carbônico) na atmosfera e pelo aumento do preço dos combustíveis fósseis (CALLEJO, 2019).

No caso das microturbinas consistem basicamente em um compressor, combustor, recuperador, pequena turbina e gerador, às vezes com apenas um eixo móvel usando o ar ou óleo para lubrificação. Normalmente podem gerar de 20 kW a 500 kW de energia elétrica, utilizando como combustível o gás natural ou diesel.

Na utilização desse tipo de geração de um formato híbrido com geradores por fonte renovável, além de contribuir para minimizar custos financeiros da geração, ainda minimiza os problemas ambientais, ambas pelo uso de combustíveis fósseis, mas auxilia na continuidade do fornecimento da energia elétrica, ampliando a confiabilidade do sistema.

### 4.1.4 Comparação das fontes de geração de energia elétrica

Conforme o REN21 (2020), a geração de energia renovável está tornando-se cada vez mais a fonte padrão de nova geração de energia de menor custo. O custo médio ponderado global da eletricidade (LCOE) das tecnologias de energia solar e eólica caiu novamente em 2019, com a energia solar fotovoltaica caindo 13%, a energia eólica *onshore* e *offshore* caiu 9% e a energia solar térmica (CSP) 1% abaixo de 2018. Entre 2010 e 2019, o LCOE médio ponderado global dos projetos comissionados caiu 13% para a bioenergia, 29% para a energia eólica *offshore*, 39% para a energia eólica *onshore*, 47% para o CSP e 82% para a energia solar fotovoltaica. O LCOE médio ponderado global dos projetos geotérmicos aumentou para US \$ 73 por MWh em 2019, refletindo a maior volatilidade do mercado geotérmico.

O LCOE médio ponderado global do PV fotovoltaico para projetos recém-comissionados caiu de US \$ 378 por MWh em 2010 para US \$ 68 por MWh em 2019. Essa

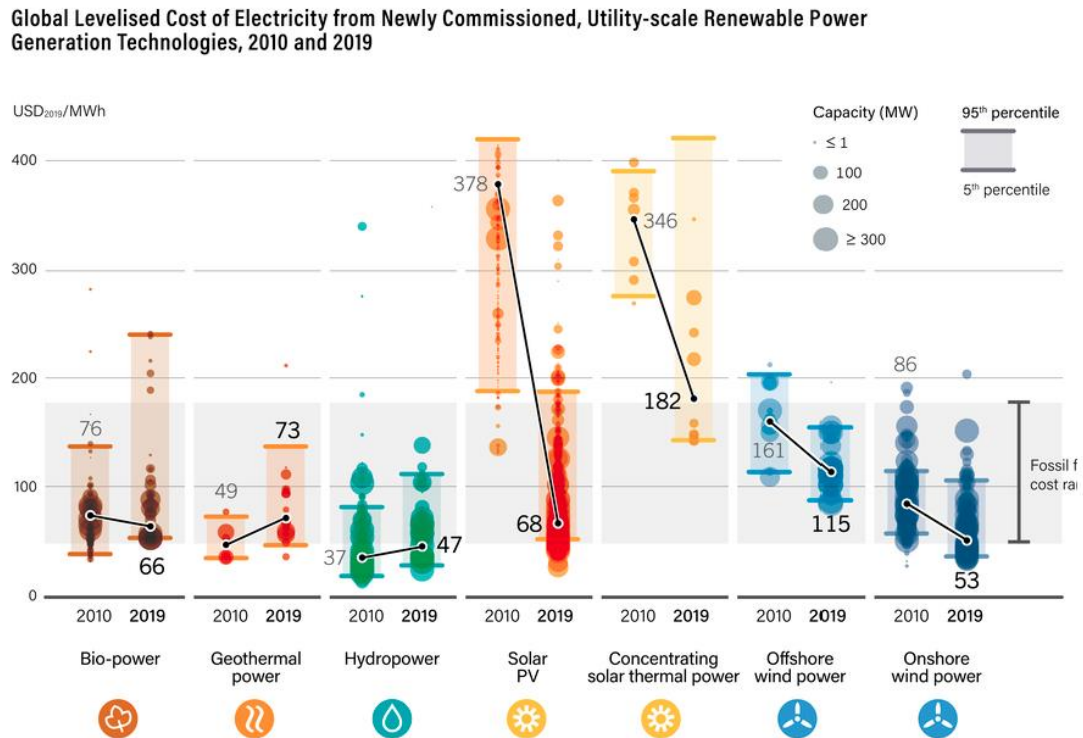
redução foi impulsionada principalmente pelo declínio nos preços dos módulos - que caíram cerca de 90% desde 2010 - e pela redução dos custos do sistema instalado, que juntos resultaram em uma redução de quase quatro quintos no custo total instalado de energia solar fotovoltaica entre 2010 e 2019.

O LCOE de projetos eólicos em terra caiu 39% entre 2010 e 2019, de US \$ 86 por MWh para US \$ 53 por MWh. Esse declínio foi causado por reduções nos custos totais instalados, melhorias na tecnologia de turbinas eólicas (que aumentaram os fatores de capacidade) e menores custos de operação e manutenção. Os preços das turbinas eólicas caíram em torno de 55-60% desde 2010, com o custo total médio global ponderado diminuindo mais lentamente em 24%. Para a energia eólica *onshore*, as principais reduções de custo das melhorias tecnológicas ocorreram em turbinas maiores, já que suas maiores alturas de torre e áreas varridas coletam mais energia dos ventos do que as turbinas antigas.

Na Figura 11 apresenta uma comparação entre os custos de geração de eletricidade a partir de várias fontes de energia, onde no eixo x da figura apresenta as fontes de energia e no eixo y da figura apresenta o custo em dólar (US\$) por megawatts hora (MWh) de potência elétrica produzida. Pela comparação que se apresenta na Figura 11, com a queda dos preços das fontes renováveis de energia e como o Brasil está em uma região favorável em relação à incidência dos raios solares, faz com que esse tipo de fonte tenha maior relevância para a matriz energética.



Figura 11 - Comparação da variação de custos entre as diversas tecnologias (entre



Além disso, na discussão da GD, é necessário levar em consideração a localização do gerador, sendo em uma área com uma grande quantidade de construções, a instalação de geradores eólicas tem grandes dificuldades de competir com o gerador fotovoltaico devido ao espaço ocupado. Um gerador eólico precisa de distanciamento para o giro livre de interferências das pás, enquanto o fotovoltaico pode ocupar o espaço dos telhados das construções. Outro dado comparativo pode ser realizado entre fontes renováveis e não renováveis para a GD, onde as fontes não renováveis possuem custos adicionais, como poluentes e agravamento destes na área da geração como em cidades mais densamente povoadas, que podem impactar a não decisão por este tipo de geração de energia elétrica.

#### 4.2 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

O armazenamento da energia elétrica pode ser um fator complementar às Microrredes, pois, fornece energia elétrica para os consumidores em momentos que a relação da geração para a demanda não é satisfeita. Se a geração da eletricidade for estabelecida com fontes renováveis de energia, este tipo de geração pode causar problemas como a intermitência dessas fontes por

questões climáticas, o que interfere no funcionamento adequado da rede de energia que é abastecida por essa geração. Isso é um fator determinante para o uso de sistemas de armazenamento nas Microrredes, contudo deve ser confrontado como os custos da implantação.

Microrredes com o uso de um sistema de armazenamento de energia poderia evitar as situações de sobretensão, quando há pico de geração de energia, ou subtensão, quando há pico de demanda, pois armazenaria a energia elétrica e injetaria na Microrrede quando necessária. Isso pode evitar situações de baixa QEE ou desligamentos de energia em regiões vulneráveis socialmente (MME, 2020).

A tecnologia para armazenamento está baseada na ideia que a energia elétrica deve ser consumida ao mesmo tempo que é gerada e a quantidade gerada sempre deverá ser igual à quantidade demandada em cada momento. Um desequilíbrio entre oferta da energia (geração) e demanda (consumo), pode significar uma instabilidade no sistema elétrico além da perda da qualidade, tensão e frequência elétrica, da energia gerada (CALLEJO, 2019).

Entre os dispositivos de armazenamento, pode-se descrever o de bombeamento, que é o armazenamento da energia potencial da água reservada; dos volantes de inércia, que baseia-se na inércia mecânica de um disco que roda a certa velocidade, acelerado por um motor elétrico como gerador que atrasa o disco e produz eletricidade; do compressor de ar, pelo armazenamento do ar comprimido que é expandido gerando eletricidade quando necessária; baterias, pelo processo de carga e descarga através de reações eletroquímicas; hidrogênio, armazenamento de H<sub>2</sub> a partir do gás natural ou eletrólise da água; através de supercondutores magnéticos, que armazenam energia eletromagnética com perdas mínimas, e descarrega pelas bobinas quando necessário; supercapacitor, com armazenamento eletrostático confinado em pequenos dispositivos duplos, separados por meio dielétrico (FUSHENG, RUIHENG e FENGQUAN, 2016) (CALLEJO, 2019).

Apesar do sistema de armazenamento para uso em Microrredes ser uma possibilidade técnica interessante, ainda não tem condições ideais que justifique seu uso devido ao custo de implantação ainda muito elevado, mas que pode diminuir ao longo do tempo, principalmente com estudos de desenvolvimento dessa tecnologia (COSTA E SILVA e BORTONI, 2016).

## 5 METODOLOGIA

A aplicação de Microrredes têm despertado o interesse das empresas concessionárias de energia elétrica, principalmente pelos diversos benefícios que podem ser alcançados. Contudo, os custos de investimentos em Microrredes ainda são relativamente elevados, sendo assim, é necessário um planejamento estratégico que permita direcionar esses investimentos em locais com maior potencial (atratividade) para a instalação destas tecnologias.

Alguns critérios são utilizados na literatura para identificar locais candidatos a participar no processo de transformação de uma rede convencional para uma Microrrede. Esses critérios podem ser os comumente utilizados como técnicos, econômicos e sociais, além de outros como ambientais e climáticos. Nesse sentido, cada critério precisa ser qualificado e quantificado por meio de um índice que represente o grau de relevância na avaliação geral.

Neste trabalho foram escolhidas três dimensões para a avaliação do Índice de Viabilidade das Microrredes (IVM) para auxiliar no planejamento de investimentos dentro de uma visão das empresas concessionárias de energia. As dimensões escolhidas foram a técnica, a econômica e a social, cada uma delas é representada por um indicador específico sendo: técnico ( $I_T$ ), econômico ( $I_E$ ) e social ( $I_S$ ), respectivamente como mostra em (1). Embora não tenha se dado ênfase nas questões ambientais, neste trabalho buscou-se a utilização apenas de fontes renováveis de energia para geração elétrica.

$$IVM = f(I_T, I_E, I_S) \quad (1)$$

Onde:

$I_T$  = Indicador técnicos associado às Microrredes;

$I_E$  = Indicador econômicos associado às Microrredes;

$I_S$  = Indicador social associado às Microrredes.

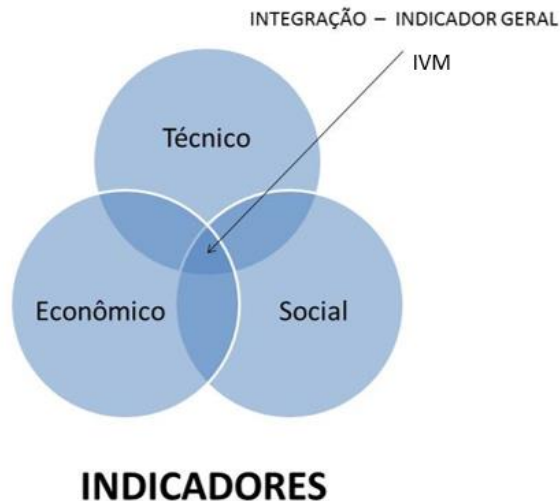
### 5.1 INDICADORES

O uso de indicadores das dimensões técnica, econômica e social, podem influenciar no futuro da instalação e da operação de uma Microrrede, pois agregam valores técnicos, econômicos e sociais aos empreendimentos em Microrredes, o que valorizam a região onde a Microrrede venha a ser instalada.

Em relação ao âmbito técnico, o uso de das Microrredes pode possibilitar um maior controle dos fluxos de energia, da tensão elétrica, das perdas elétricas causadas pela distância da geração ao consumidor.

Em relação ao âmbito econômico, com o uso mais intenso de tecnologias baseadas em fontes renováveis de energia, as Microrredes possibilitam custos menores para as fontes de energia dedicadas para a geração da eletricidade, já que a geração distribuída está localizada próxima aos consumidores, isso também minimiza gastos com a construção ou ampliação de redes de transmissão e/ou distribuição da energia elétrica, além de diminuir as perdas elétricas ativas.

*Figura 12 - Indicadores*



Fonte: autoria própria

Para o âmbito social, existe uma diversidade de indicadores que podem demonstrar o impacto social na área física onde a Microrrede deve ser implementada. Fontes de informações como o IBGE<sup>5</sup> possibilitam o estudo de viabilidade da implantação dos sistemas conforme necessidades específicas. Dentre os dados oferecidos podemos dispor de indicadores que destacam: a renda média por habitação; se estas habitações possuem acesso à energia elétrica; o consumo de energia per capita; entre outros.

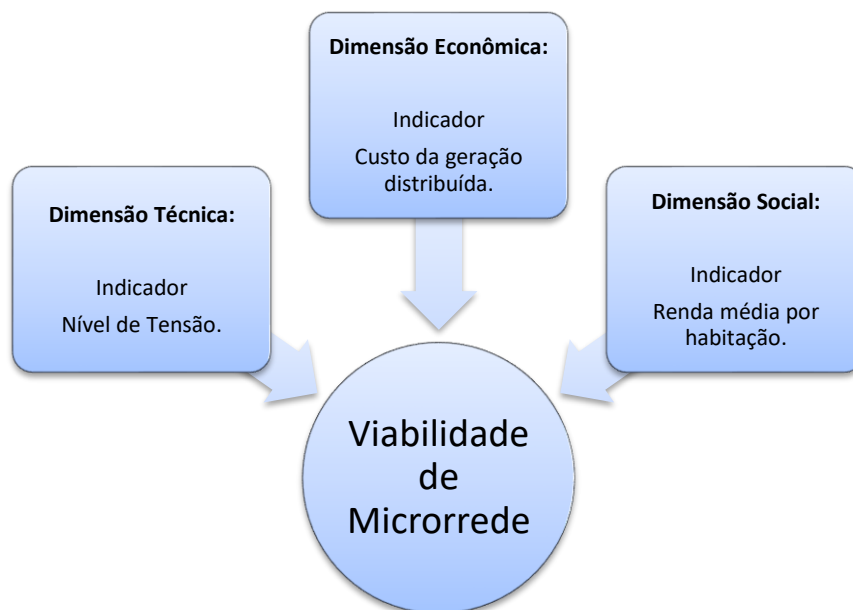
Desta forma, este trabalho centraliza o interesse na integração dos três grupos de indicadores: técnicos, econômicos e sociais, conforme a Figura 12. Não há como dissociar os indicadores técnicos sem uma visão no econômico e social para atender a sustentabilidade de

<sup>5</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

um processo de inserção de métodos que incluam serviços para a sociedade. Sendo assim, este trabalho propõe identificar regiões atraentes para orientar investimentos em Microrredes tendo em consideração além dos aspectos técnico e econômico, o aspecto social na implementação, principalmente porque a energia elétrica deve ser entregue a quem precisa e não pode pagar por ela, essa é uma função social. Assim, a implantação de Microrredes pode ajudar no desenvolvimento da região onde a energia elétrica for disponibilizada, priorizando a QEE e minimizando interrupções de energia elétrica entregue a esses consumidores.

Neste trabalho, o IVM relaciona as dimensões mostradas na Figura 13. A dimensão técnica é representada pelo indicador de tensão elétrica (este parâmetro possui uma influência vital no atendimento dos consumidores). Por sua vez, a dimensão econômica é representada por dois aspectos, o primeiro relaciona o custo de implantação e operação do sistema de Microrrede, e o segundo avalia a fração relativa à geração renovável e a proximidade ao consumidor. Para a dimensão social, o indicador avaliado corresponde à renda média por habitação (este parâmetro visa priorizar as áreas com menor renda), assim as Microrredes poderiam possibilitar o desenvolvimento social da região, o aumento da confiabilidade do sistema elétrico (regiões mais vulneráveis podem enfrentar menos eventos de descontinuidade do fornecimento de energia elétrica), e a melhoria na QEE.

*Figura 13 - Dimensão e Indicadores*



Fonte: Autoria própria

A Tabela 3 apresenta a relação dos softwares utilizados neste trabalho, demonstrando nomes, versões, tipos de simulação e formas da licença. O software OpenDSS foi utilizado para a dimensão técnica, já o HOMER Pro para a dimensão econômica. No software QGIS, foi executada a aplicação da dimensão social enquanto no software Infuzzy, foi feita a aplicação da Lógica Fuzzy para a análise do IVM.

*Tabela 3 - Softwares*

<b>Software</b>	<b>Simulação</b>	<b>Licença</b>
OpenDSS, v. 8.4.1.1	Fluxo de potência: -Nível de tensão e -Perdas elétricas	Livre redistribuição
HOMER Pro, versão 3.14.4	Análise econômica: -Dimensionamento da microrrede e -Custos +fração renovável	Pago, valor diferenciado para estudantes e pesquisadores. Design de microrredes elétricas.
QGIS, versão 3.10.7	Dados georreferenciados: -Análise visual. -Geográfica. -Social (dados IBGE).	Livre. Sistema de informação geográfica (SIG) que permite a edição e visualização de dados georreferenciados.
Infuzzy, versão 1.1	Análise pela Lógica <i>Fuzzy</i> Modelagem de sistemas difusos	Livre

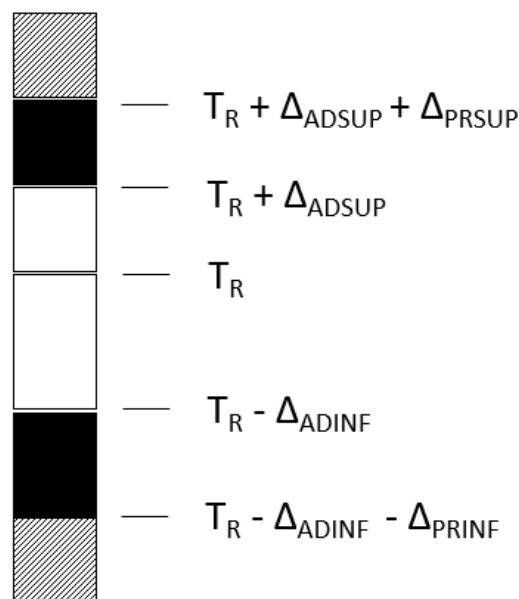
Fonte: Autoria própria

### 5.1.1 Dimensão técnica

A legislação vigente oferece uma grande diversidade de indicadores técnicos para verificar a QEE, por exemplo, a tensão elétrica, a duração do tempo de interrupção do fornecimento, as perdas elétricas registradas no sistema. Para este trabalho, é utilizado o nível de tensão elétrica para possibilitar uma adequação na tensão fornecida ao consumidor. O nível de tensão permite analisar eventuais problemas nos equipamentos energizados pela rede elétrica.

Em regime permanente, destacam-se os indicadores de conformidade de tensão DRP<sup>6</sup> e DRC<sup>7</sup>, eles representam a duração relativa da transgressão de tensão precária e crítica respectivamente para uma unidade consumidora. Estes indicadores avaliam se a tensão elétrica fornecida aos consumidores está em conformidade, ou seja, não excedam certos limites que possam colocar em risco as instalações do consumidor. A Figura 14 mostra os limites de tensão definidos no Módulo 8 do Prodist<sup>8</sup> ANEEL (2018), onde  $T_R$  representa a tensão de referência, a partir dela surgem faixas, sendo que os valores dentro da faixa da área branca são considerados valores de tensão adequados para o uso dos consumidores. Já os valores dentro da área preta são considerados valores de tensão precários para o uso dos consumidores. Por sua vez, os valores dentro da área listrada, são considerados condições operacionais críticas para o uso dos consumidores, portanto, adequações são necessárias.

*Figura 14 - Faixas de Tensão em Relação à Referência*



Fonte: (ANEEL, 2018)

<sup>6</sup> DRP - índice de duração relativa da transgressão para tensão precária

<sup>7</sup> DRC - índice de duração relativa da transgressão para tensão crítica

<sup>8</sup> PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

Sendo:

Tensão de Referência ( $T_R$ );

Faixa Adequada de Tensão ( $T_R - \Delta_{ADINF}$ ,  $T_R + \Delta_{ADSUP}$ );

Faixas Precárias de Tensão ( $T_R + \Delta_{ADSUP}$ ,  $T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP}$  ou  $T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF}$ ,  $T_R - \Delta_{ADINF}$ );

Faixas Críticas de Tensão ( $> T_R + \Delta_{ADSUP} + \Delta_{PRSUP}$  ou  $< T_R - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF}$ ).

Para o PRODIST ANEEL (2018), os valores de referência mencionados estão conforme a classe de tensão. A Tabela 4 mostra que, se uma tensão medida estiver com seu valor fora do limite, poderá afetar os equipamentos do consumidor, como por exemplo, uma medição com o valor de 0,92 pu de tensão elétrica mostra que este valor está na faixa de tensão precária, não sendo adequada para atender o consumidor.

*Tabela 4 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV*

<b>Tensão de Atendimento (TA)</b>	<b>Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão de Referência (TR)</b>
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Fonte: (ANEEL, 2018)

Neste trabalho, a análise das tensões nos consumidores é feita utilizando um fluxo de potência desequilibrado. Para esta avaliação, cada consumidor é representado considerando curvas típicas de consumo. O fluxo de carga permite estimar valores de tensão nas três fases em todas as barras. Neste trabalho, as tensões selecionadas para a análise são as obtidas no patamar de máxima potência, este patamar foi escolhido por apresentar valores mais severos em relação aos níveis de tensão.

Para uma análise do Indicador  $I_T$ , considera-se como as melhores opções, são aquelas regiões que apresentam valores críticos de tensão elétrica para a implantação da Microrredes, ou seja, a qualidade da tensão fornecida pela rede elétrica principal não atende a condição ideal do nível de tensão para os seus consumidores. Essa condição operacional pode gerar problemas e penalidades para as concessionárias de energia responsáveis pelo atendimento. Como exemplo, se o valor medido para o consumidor for 0,89 pu, o nível de tensão é considerado crítica (ver Tabela 5), sendo assim a instalação de uma Microrrede poderia elevar o nível de



tensão até o nível adequado. Por outro lado, a condição dita adequada (tensões entre 0,95 pu e 1,05 pu) atende os níveis de tensão para seus consumidores, sendo assim, não viabiliza a instalação das Microrredes para adequar o nível de tensão.

Para efeitos deste estudo, a fronteira da tensão entre a condição baixo e médio foi elevada de 0,93 pu para 0,95 pu, buscando assim a melhoria do atendimento.

*Tabela 5 - Indicador do nível de tensão. Valores adaptados do Módulo 8 PRODIST.*

Condição estabelecida	Condição Linguística	Indicador – Nível de tensão NT (pu)
Baixo	Tensão adequada, dentro dos limites adequados para o consumidor	$0,95 \leq NT \leq 1,05$
Médio	Tensão precária, não está dentro dos limites para o consumidor. Requer estudos	$0,9 \leq NT \leq 0,95$
Alto	Tensão crítica, não está dentro dos limites para o consumidor	$NT < 0,9$ ou $NT > 1,05$

Fonte: autoria própria

### 5.1.2 Dimensão econômica

Estes indicadores estão relacionados ao uso de fontes de energia renovável para a geração de energia elétrica. No Brasil, a matriz energética para geração elétrica é baseada em fontes renováveis em grandes potências, portanto centralizadas, principalmente a partir de fonte hidráulica. Para a geração descentralizada, ou seja, distribuída, próxima ao consumidor, as fontes renováveis também tem um papel preponderante, por exemplo por fonte fotovoltaica. Indicadores econômicos podem ser analisados como custo da geração, uso de fontes renováveis, proximidade do consumidor, entre outros. Neste trabalho, o indicador  $I_E$  está relacionado aos custos totais para a implantação, operação e manutenção da Microrrede, além da porcentagem da geração obtida por fontes renováveis e próximas ao consumidor.

#### **Custo da Geração Distribuída.**

Os custos para comparação das fontes de energia para a conversão em eletricidade podem ser vistos no Estudo da Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021). A Tabela 6 está baseada nesse estudo, exceto para o gerador a diesel.

O valor do dólar para conversão – Cotação dia 09/3/21 (US\$1,00 – R\$5,7862)

*Tabela 6 - Custos de geração de energia*

Tipo de Oferta	Custos totais	
	(R\$/kW) / (US\$/kW)	O&M (R\$/kW/ano) / (US\$/kW/ano)
Armazenamento por baterias (íon lítion)	7.350,00 / 1270,26	70,00 / 12,10
Eólica onshore	4.500,00 / 777,71	90,00 / 15,55
Fotovoltaica	4.000,00 / 691,30	50,00 / 8,64

Fonte: baseada em (EPE, 2021)

Em se tratando do gerador a diesel para efeito de comparação, o valor do litro equivale a R\$4,132 ou pela cotação do dia 09/03/21 (US\$1,00 – R\$5,7862), ao valor de US\$0,71 o litro do diesel.

### **HOMER Pro**

O HOMER Pro, versão 3.14.4, é um software pago muito útil para o design das Microrredes elétricas. Com os locais identificados para avaliação das Microrredes, pode-se calcular a potência adequada para a geração de energia distribuída, utilizando-se para isso, os valores da curva de carga (kW) diária.

Dimensionamento do gerador fotovoltaico conforme Manual do HOMER Pro, adota a seguinte equação:

$$P_{Fv} = Y_{Fv} \cdot f_{Fv} \left( \frac{\bar{G}_T}{\bar{G}_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_P (T_c - T_{c,STC})] \quad (2)$$

Onde:

$P_{Fv}$  = Potência de saída do arranjo fotovoltaico (kW)

$Y_{Fv}$  = capacidade nominal do arranjo fotovoltaico, o que significa sua saída de energia sob condições de teste padrão [kW];

$f_{Fv}$  = o fator de degradação do gerador fotovoltaico [%];

$\bar{G}_T$  = a incidência de radiação solar no plano dos painéis fotovoltaicos de tempo atual [kW/m<sup>2</sup>]

$\bar{G}_{T,STC}$  = a radiação incidente em condições padrão de teste [1 kW/m<sup>2</sup>]

$\alpha_T$  = o coeficiente de temperatura de potência [%/°C];

$T_c$  = temperatura da célula do PV na etapa de tempo atual [°C];

$T_{c,STC}$  = temperatura das células PV em condições padrão de teste [25°C]

Neste trabalho, para avaliação do sistema fotovoltaico, é inserido o valor da potência de pico calculado pelo próprio HOMER Pro após a entrada dos dados da curva de carga de cada Microrrede no espaço de procura, Search Space, portanto:

$$P_{gFv} = P_{Fv} \quad (3)$$

Onde:

$P_{gFv}$  = Potência na saída do gerador fotovoltaico (kW).

A potência do gerador eólico será equivalente ao estabelecido para o gerador fotovoltaico, ou seja, equivalente ao valor de  $P_{gFv}$ .

Para o dimensionamento do Gerador a diesel, o próprio software HOMER Pro calcula o gerador adequado, porém, pode-se adotar a seguinte equação:

$$P_{gd} = \frac{P_{máx}}{0,85} \quad (4)$$

Onde:

$P_{gd}$  = Potência do gerador distribuído (kW);

$P_{máx}$  = Potência máxima da carga = Potência de pico da carga (kW);

0,85 = demanda da carga do gerador que deve equivaler no máximo 85% da sua capacidade nominal.

Para o resultado obtido nas simulações da Microrrede, adota-se o indicador *Net present cost*, NPC (\$), que representa o valor presente dos custos de instalação e operação dos componentes de uma Microrrede durante a sua vida útil, compara-se entre a rede elétrica normal e o caso da instalação da Microrrede com recursos energéticos distribuídos. Além do NPC, ainda consta do indicador o *Renewable fraction*, Ren Fra (%) – que é a Fração de geração de energia elétrica utilizado com fontes renováveis.

Para o NPC, no HOMER Pro define-se os valores de entrada, investimento, substituição/manutenção e custo de operação ao longo da vida útil dos equipamentos, utiliza-se uma determinada taxa de desconto.

$$NPC = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (5)$$

Onde:

*NPC*: custo presente líquido (net present cost – NPC) [US\$];

*CF*: fluxo de caixa (cash flow) [US\$], refere-se ao saldo dos valores recebidos e custos para o sistema no período analisado;

*i*: taxa de juros real;

*t*: tempo de análise do sistema.

A taxa de desconto real é usada para converter entre custos únicos e custos anualizados. A HOMER Pro calcula a taxa de desconto real anual (também chamada de taxa real de juros ou taxa de juros) dos insumos "Taxa nominal de desconto" e "Taxa de inflação esperada". HOMER Pro usa a taxa de desconto real para calcular fatores de desconto e custos anualizados a partir de custos líquidos presentes. O HOMER Pro usa a seguinte equação para calcular a taxa real de desconto:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (6)$$

Onde:

*i* = taxa de desconto real;

*i'* = taxa de desconto nominal;

*f* = taxa de inflação esperada para o período.

Para este trabalho, a taxa de desconto nominal foi adotada em  $i' = 8\%$ , que é o valor esperado para o retorno do empreendimento. Para a taxa de inflação referente ao acumulado para o ano em 2020 ficou em  $f = 4,52\%$ , valor da inflação conforme (IBGE, 2020).

E para o cálculo do  $I_E$  (Indicador econômico), será da seguinte forma:

$$I_E = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (7)$$

Onde:  $f_1$  representa a comparação para o NPC em duas situações, o caso base, quando os consumidores serão alimentados totalmente pela rede principal ( $NPC_b$ ) e um segundo caso, quando os consumidores serão alimentados pelos geradores da Microrrede analisada ( $NPC_m$ ).

Para  $f_2$ , deverá indicar a fração de geração de energia elétrica utilizando fontes renováveis.

Em relação ao  $f_1$ , a equação será:

$$f_1 = \left( \frac{NPC_m - NPC_b}{NPC_b} \right) \quad (8)$$

Já o  $f_2$ , é calculado pela fração das fontes renováveis utilizadas para gerar a energia elétrica demanda, conforme segue:

$$f_2 = 1 - \frac{Enr + Hnr}{Ed + Hd} \quad (9)$$

Onde:

$Enr$  e  $Hnr$  = produção de energia elétrica e térmica não renovável [kWh/ano];

$Ed$  e  $Hd$  = carga elétrica e térmica total demandada [kWh/ano].

Em termos linguísticos, a melhor condição para a implementação da Microrrede é *alta*, indicando que o valor percentual do custo da geração da eletricidade somado à fração de geração renovável está abaixo do valor médio do intervalo das Microrredes em análise dentro da rede elétrica de distribuição, sendo que a condição baixa será a pior para a instalação das Microrredes. A faixa de valores dependerá do intervalo entre mínimo e máximo valor obtido nas simulações de uma determinada rede elétrica principal em estudo. Seguem as condições para o  $I_E$  na Tabela 7.

*Tabela 7 - Indicador de custos de geração com GD*

Condição estabelecida	Condição Linguística	Indicador – $I_E$
Baixo	Uso de geração com fonte não renovável distante do consumidor	$P_{min} \leq I_E \leq P_{min} + T/3$
Médio	Uso de geração com fonte renovável distante do consumidor ou uso de geração com fonte não renovável próxima ao consumidor	$P_{min} + T/3 \leq I_E \leq P_{max} - T/3$
Alto	Uso de geração com fonte renovável próxima ao consumidor	$P_{max} - T/3 \leq I_E < P_{max}$

Fonte: autoria própria

Onde:

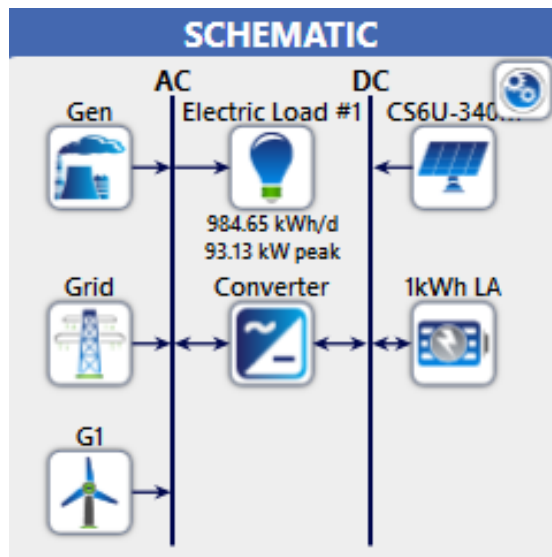
$P_{min}$  = ponto de menor valor do intervalo;

$P_{max}$  = ponto de maior do intervalo;

$T = |P_{max}/-/ P_{min}|$ .

Para o esquema proposto e configurado conforme ilustrado pela Figura 15, o HOMER Pro analisa a situação das Microrredes a partir de uma curva de consumo local inserida pelo operador, com a possibilidade dessa carga ser atendida em modo conectado à rede principal, mas também em modo ilhado por gerador com fonte não renovável, como o gerador a diesel, ou por fontes renováveis, como o gerador solar ou eólico, podendo ter um sistema de baterias para auxiliar no atendimento em momentos de falta da geração renovável.

*Figura 15 - Esquemática para dimensionamento das Microrredes*



Fonte: Software HOMER Pro

### 5.1.3 Dimensão social

Neste trabalho, para a determinação do indicador social  $I_S$ , são utilizados indicadores existentes na base de dados do IBGE, os quais caracterizam regiões geográficas, sendo eles, indicador de renda média por habitação e indicador de habitação com acesso à energia elétrica.

O indicador renda média por habitação foi selecionado principalmente porque as GDs instaladas próximas ao consumidor tendem a impactar de forma positiva na empregabilidade da região, bem como no desenvolvimento da mão de obra especializada, isso favorece o surgimento de novos empregos e, por conseguinte o pagamento de salários na própria região.

Para se verificar os valores de renda por habitação, é necessário o acesso aos dados do IBGE. Estes dados são públicos e atualizados a cada década pelo Censo Demográfico os quais mostram informações dos setores censitários<sup>9</sup>. Para este trabalho considerou-se o ano de 2010 como base, por ter sido a pesquisa mais recente, o que não deve afetar os resultados pela pouca variação nesse período.

Para o acesso à base de dados do IBGE, foi utilizado o software QGIS, versão 3.10.7 de licença livre. O QGIS permite a edição e visualização de dados georreferenciados na plataforma do sistema de informação geográfica (SIG) (CÂMARA, CASANOVA, *et al.*, 1996). No QGIS, utiliza-se a região geográfica de interesse e os dados de indicadores sociais da base de dados do IBGE, além da locação da rede elétrica em estudo. A junção dessas informações permite uma visualização dos locais de interesse para a implementação das Microrredes. Sendo assim, a base dos dados para a implantação geográfica no QGIS foi obtida através do Portal de internet do IBGE. A necessidade desta ação se deve justamente pela falta de dados geográficos por usuários comuns (usuários que não atuam diretamente com as empresas de energia elétrica), que não tem acesso aos dados das redes elétricas e suas localizações. A ANEEL tem realizado um trabalho nesse sentido com o Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL), o qual permite trazer diversos elementos em SIG, mas ainda não permite visualizar as redes elétricas distribuídas e suas localizações. Porém, o SIGEL pode propiciar diversos elementos para um trabalho de pesquisa como, por exemplo, a localização de GD's.

Na Tabela 8 - Indicador renda média Tabela 8, tem-se o Indicador de renda média por habitação  $I_S$  que é verificado a partir dos dados de pesquisa do IBGE, onde será analisado a porcentagem do total de habitações com rendimento médio de até 1 salário-mínimo por setor da área geográfica estudada.

$$I_S = \frac{\sum sm_1}{SM_T} \quad (10)$$

Onde:

$I_S$  = Indicador social;

$\sum sm_1$  = Somatória de habitações com renda de até 1 salário-mínimo do setor;

$SM_T$  = Somatório das habitações do setor.

---

<sup>9</sup> Setores censitários são unidades territoriais de coleta das operações censitárias, definidos pelo IBGE, com limites físicos identificados, em áreas contínuas e respeitando a divisão político-administrativa do Brasil (IBGE, 2010).

Para este indicador  $I_s$ , a condição mais adequada para viabilizar a instalação da Microrrede elétrica é a condição *alta*, ou seja, é a condição que demonstra a região espacial que há maior percentual de residências com domiciliados com renda média de até 1 salário-mínimo, condição ideal para a instalação Microrredes. Pois podem facilitar o emprego e o aumento renda das pessoas que vivem nessa região, já a pior condição é a *baixa*, significando que determinado setor tem a maior parte das residências com renda superior a 1 salário-mínimo, não necessitando de serviços locais e novos atrativos tecnológicos para o desenvolvimento dessa região atendida pela rede elétrica.

*Tabela 8 - Indicador renda média*

Condição estabelecida	Condição Linguística	Indicador $I_s$
Baixo	Até 33% das residências com 1 salário-mínimo	$I_s \leq 0,33$
Médio	Entre 33 e 67% das residências com 1 salário-mínimo	$0,33 \leq I_s \leq 0,67$
Alto	Entre 67 e 100% das residências com 1 salário-mínimo	$I_s > 0,67$

Fonte: autoria própria

## 5.2 APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA AVALIAÇÃO DO IVM

Neste trabalho será adotado a Lógica Fuzzy para a aplicação do Índice de Viabilidade das Microrredes – IVM. Este índice visa facilitar a tomada de decisão pelos agentes interessados quando há variáveis sem definição em termos exatos. A Lógica Fuzzy permite que variáveis não tenham valores específicos como 0 ou 1, possibilitando que tenham graus de pertencimento entre os elementos em relação ao seu conjunto (RIGNEL, CHENCI e LUCAS, 2011). Portanto, a Lógica Fuzzy é uma forma de gerenciar incertezas por meio de expressões verbais, imprecisas, qualitativas, inerentes da comunicação humana, dentro do intervalo entre 0 e 1, sendo 1 a incerteza absoluta (SIMÕES e SHAW, 2007).

As etapas de um projeto com o uso da Lógica Fuzzy são descritas como: i) fuzzificação é quando se define as variáveis linguísticas de forma subjetiva e as funções de pertinência; ii) a inferência quando se define um conjunto de regras e faz-se a sua verificação, aferição; iii) a



defuzzificação é quando se converte em números reais e tem-se o resultado do projeto (CHEGOSKI, AOKI e YAMAKAWA, 2017).

Conjuntos *Fuzzy* baseiam-se no fato dos elementos dos conjuntos em análise, poderem pertencer a outro conjunto de elementos de forma parcial, cujas fronteiras podem ser consideradas incertas, isto é, definidas por meio de propriedades subjetivas ou atributos imprecisos (BARROS e BASSANEZI, 2006).

Por definição, Seja U um conjunto e A um subconjunto de U, a função característica de A será:

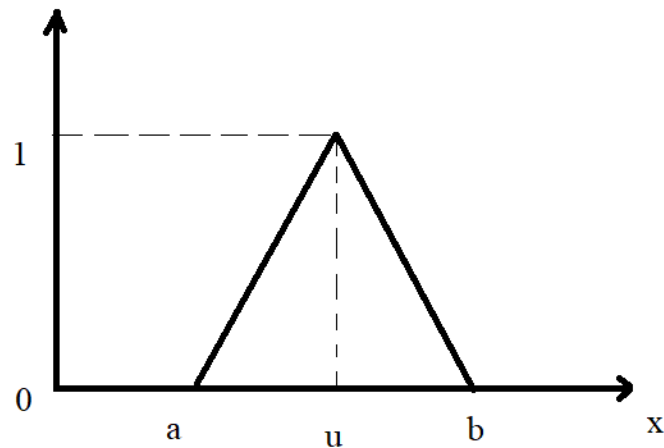
$$U(x) = \begin{cases} 1 & \text{se, } x \in A \\ 0 & \text{se, } x \notin A \\ 0 \leq U(x) \leq 1 & \text{se, } x \in \text{parcialmente a } A \end{cases} \quad (11)$$

Em (11) demonstra a função de pertencimento do subconjunto A ao conjunto U com uma condição de parcialidade.

Os números Fuzzy são os valores que dentro de um intervalo de números reais, não tem exatidão, são representados pelos extremos inferior e superior, limitados ao tamanho do pertencimento entre 0 e 1 (BARROS e BASSANEZI, 2006). Sendo assim, um número Fuzzy pode ser no formato triangular, trapezoidal ou em forma de sino. Para o triangular, a sua função de pertinência será conforme (12). A Figura 16 assume então a forma de triângulo.

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{u-a} & \text{se } a < x \leq u \\ \frac{x-b}{u-b} & \text{se } u < x \leq b \\ 0 & \text{se } x \geq b \end{cases} \quad (12)$$

Figura 16 - Gráfico função de pertinência triangular

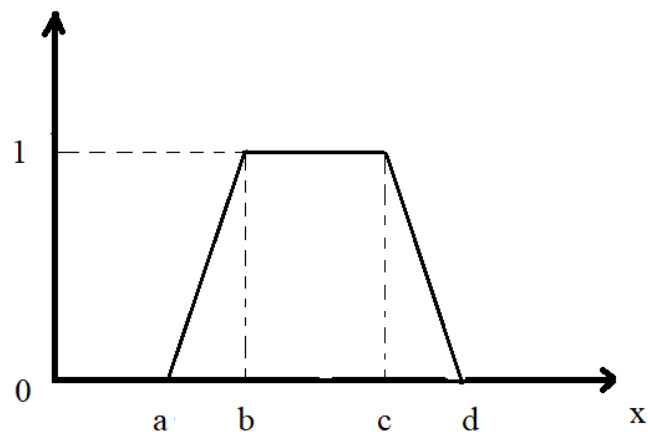


Fonte: autoria própria

Um número Fuzzy A são no formato trapezoidal, se sua função de pertinência tem a forma de um trapézio e será conforme (13). A Figura 17 assume então a forma trapezoidal.

$$A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a \leq x < b \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{se } c < x \leq d \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (13)$$

Figura 17 - Gráfico da função de pertinência trapezoidal



Fonte: autoria própria

As funções de pertinência são fundamentais para a Lógica Fuzzy, pois se trata de uma função numérica gráfica ou tabulada que atribui valores de pertinência Fuzzy em valores discretos de uma variável, em seu universo de discurso SIMÕES e SHAW (2007), significando

o quanto um determinado valor pertence a uma determinada função Fuzzy. Para tanto, a lógica do pensamento de um operador se traduz em uma formulação de causa e efeito com um determinado efeito ou consequência, refletindo o aprendizado do operador ao inserir informações à máquina ou sistema (SIMÕES e SHAW, 2007). Esse processo tem a seguinte condição linguística: Se causa 1 é A e causa 2 é B então o efeito é C.

Condições também podem ser atribuídas a um sistema em termos linguísticos como baixo, médio e alto, ou ainda, bom, médio e ruim por exemplo. A condição de inferência será então o conjunto de regras atribuídas ao sistema em análise, ou seja, as regras que a partir de premissas individuais dos indicadores, venham a permitir uma conclusão na saída que dependerá do método a ser utilizado no projeto.

A defuzzificação será o resultado obtido após a passagem pelas regras estabelecidas no processo anterior, que será traduzido em um valor discreto e determinante no projeto. A defuzzificação se dará por alguns métodos como, centro-de-área, centro-do-máximo ou média-do-máximo. Neste projeto será utilizado o método centro-de-área ou também chamado de centro-da-gravidade, o qual se calcula como segue:

$$U(t) = \frac{\sum_{j=1}^N u_i(t) * w_i}{\sum_{j=1}^N u_i(t)} \quad (14)$$

Onde:

$u_i(t)$  = valor da função de pertinência em t

$w_i$  = valor da função de pertinência;

### 5.3 ÍNDICE DE VIABILIDADE DE MICRORREDES

O indicador proposto utilizado neste trabalho é o Índice de Viabilidade de Microrredes - IVM, que após a inserção dos dados mencionados anteriormente, permite verificar se uma determinada região geográfica terá condições de interesse para que, parte da rede elétrica, seja transformada em uma Microrrede.

Para tanto, neste trabalho foi feita uma formulação em Lógica Fuzzy com a finalidade de encontrar o Índice de Viabilidade de Microrredes, levado em consideração os parâmetros de cada dimensão dos indicadores e suas funções de pertinência.

Neste trabalho, não foram inseridos pesos para cada dimensão, ou seja, não há diferenciação entre cada indicador e de cada dimensão durante a sua contribuição no IVM. Para

a determinação do IVM, construiu-se um sistema onde cada dimensão teve seus indicadores divididos em conjuntos Fuzzy e foi descrito por termos linguísticos. A condição do projeto é, portanto, formada por três entradas e uma saída.

A Tabela 9 mostra os valores mencionados no Índice geral, sendo que a condição mais adequada para a instalação da Microrrede elétrica é *alta*, a condição média é a *média* e a pior condição é a *baixa*. Sendo assim, na condição *baixa*, será considerado não adequado para a inserção de Microrrede dentro da rede elétrica principal:

*Tabela 9 - IVM*

Condição estabelecida	Condição Linguística	Indicador IVM
Baixo	Não viável	$IVM \leq 0,35$
Médio	Possível	$0,3 \leq IVM \leq 0,7$
Alto	Viável	$IVM > 0,65$

Fonte: Autoria própria

Onde:

IVM = Índice geral para determinar a viabilidade da instalação de Microrredes elétricas.

Na Tabela 10 são apresentados os índices para o método proposto, onde na primeira coluna são apresentadas as três dimensões técnica, econômica e social. Nas colunas intermediárias são mostradas as classificações dos valores de entrada de cada indicador por dimensão. Na última coluna são apresentados os valores de defuzzificação, ou seja, a classificação dos valores de saída para o índice que indica a Viabilidade de Inserção de Microrredes na área estudada.

Tabela 10 - Dimensões Fuzzy para o sistema proposto

Dimensão	Indicadores	
Técnica	Nível de Tensão: (0,7 a 1,2 V(pu)) Adequada (0,95 , 1 , 1,05) - Baixa Precária (0,9 , 0,93, 0,95) - Média Crítica_a (0,7 , 0,85 , 0,9) - Alta Crítica_b(1,05 , 1,1 , 1,2) – Alta	Índice geral das Microrredes (0 a 1 %)  Baixa (0 , 0,2 , 0,35) Média (0,3 , 0,5 , 0,7) Alta (0,65 , 0,8 , 1)
Econômica	Uso de Energias Renováveis em Geração Distribuída ( -0,16 a 0,23 (índice))  Baixa (-0,16 , -0,1 , -0,03) Média (-0,03 , 0,04 , 0,1) Alta (0,008 , 0,15)	
Social	Rendimento médio por habitação (0 a 1 salário-mínimo/habitação)  Baixa (0 , 0,2 , 0,33) Média (0,33 , 0,5 , 0,67) Alta (0,67 , 0,8 , 1)	

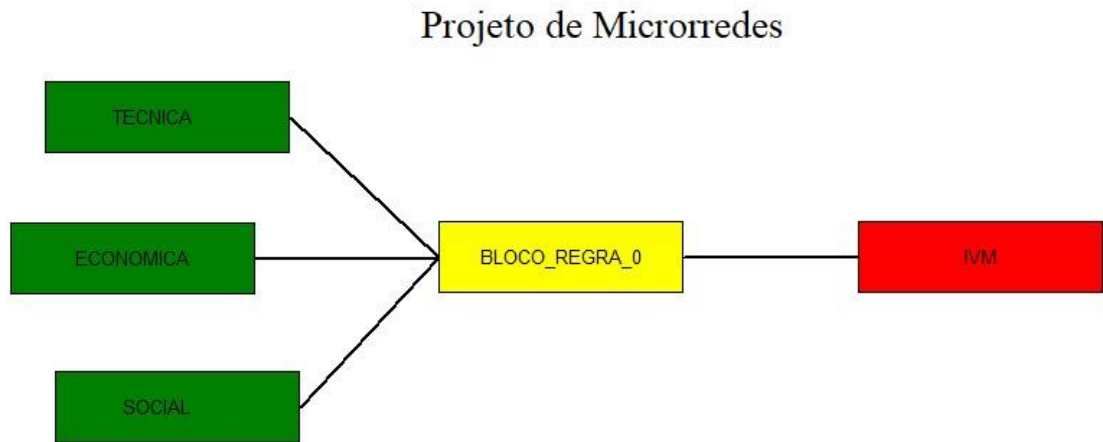
Fonte: Autoria própria

**Infuzzy**

Para os cálculos do valor do IVM, utiliza-se o software livre de cálculos estatísticos Infuzzy versão 1.1. O modelo do projeto proposto no software Infuzzy encontra-se na Figura 18. Os gráficos de pertinência são mostrados na Figura 19, onde no eixo x são representados os valores do conjunto Fuzzy e no eixo (y), os valores da pertinência.

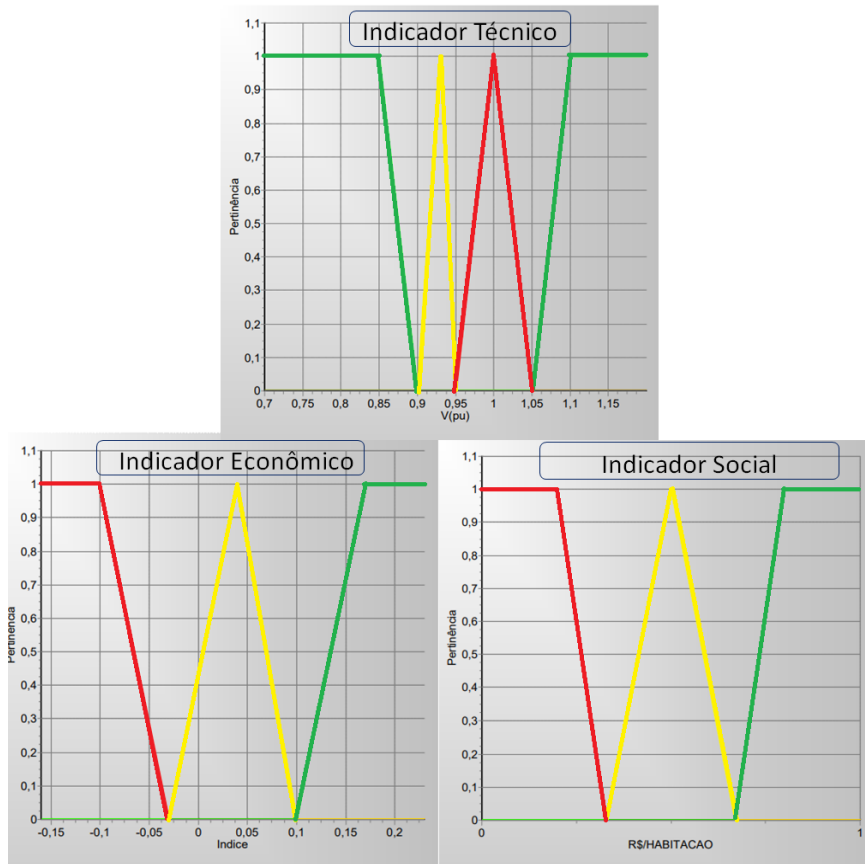
Para o gráfico do indicador técnico, foi estabelecida a condição “Crítica a” e “Crítica b”, pois tem valores numéricos diferentes, mas possuem a mesma conotação linguística “Crítica”, (ver Tabela 11).

Figura 18 - Diagrama Fuzzy do Projeto de Microrredes



Fonte: Autoria própria a partir do software Infuzzy

Figura 19 – Gráficos de funções de pertinência para os três indicadores, o técnico, o econômico e o social



Fonte: Autoria própria utilizando software Infuzzy

O Bloco de regras para a fuzzificação está constituído por três elementos de entrada na condição “e” com uma única saída, conforme apresentado na Tabela 11, por exemplo,

considerando um cenário de carga para uma possível implantação de uma Microrrede, tem-se as seguintes condições: valor para a o indicador técnico “Crítico a”, valor para o indicador econômico “Médio”, e o valor para o indicador social “Adequado”, observa-se que o IVM será “Médio”.

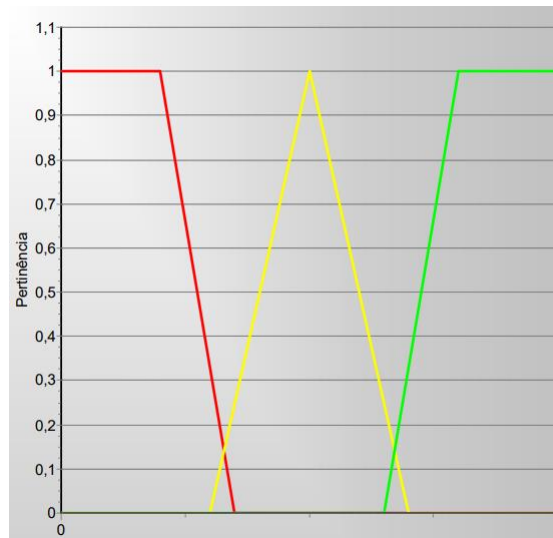
*Tabela 11 - Regras de fuzzificação*

Número da regra	Se			Então IVM
	Técnica	Econômica	Social	
1	Crítica_a	Baixo	Adequado	Baixo
2	Crítica_a	Baixo	Precária	Média
3	Crítica_a	Baixo	Crítica	Alta
<b>4</b>	<b>Crítica_a</b>	<b>Médio</b>	<b>Adequado</b>	<b>Média</b>
5	Crítica_a	Médio	Precária	Média
6	Crítica_a	Médio	Crítica	Alta
7	Crítica_a	Alto	Adequado	Média
8	Crítica_a	Alto	Precária	Alta
9	Crítica_a	Alto	Crítica	Alta
10	Crítica_b	Baixo	Adequado	Baixo
11	Crítica_b	Baixo	Precária	Média
12	Crítica_b	Baixo	Crítica	Alta
13	Crítica_b	Médio	Adequado	Média
14	Crítica_b	Médio	Precária	Média
15	Crítica_b	Médio	Crítica	Alta
16	Crítica_b	Alto	Adequado	Média
17	Crítica_b	Alto	Precária	Alta
18	Crítica_b	Alto	Crítica	Alta
19	Precária	Baixo	Adequado	Baixo
20	Precária	Baixo	Precária	Média
21	Precária	Baixo	Crítica	Média
22	Precária	Médio	Adequado	Média
23	Precária	Médio	Precária	Média
24	Precária	Médio	Crítica	Alta
25	Precária	Alto	Adequado	Média
26	Precária	Alto	Precária	Alta
27	Precária	Alto	Crítica	Alta
28	Adequada	Baixo	Adequado	Baixa
29	Adequada	Baixo	Precária	Baixa
30	Adequada	Baixo	Crítica	Baixa
31	Adequada	Médio	Adequado	Baixa
32	Adequada	Médio	Precária	Média
33	Adequada	Médio	Crítica	Média
34	Adequada	Alto	Adequado	Baixa
35	Adequada	Alto	Precária	Média
36	Adequada	Alto	Crítica	Alta

Fonte: Autoria própria

Para a defuzzificação, foram apresentados os valores conforme mencionados na Tabela 11. Onde foi configurado o gráfico conforme Figura 20, onde demonstra que a área de cor verde indica maior viabilidade para a implantação de Microrredes, cor amarela, média viabilidade, indicando uma condição de possibilidade ou não da implantação de Microrredes e cor vermelha indica baixa viabilidade.

*Figura 20 - Gráfico de defuzzificação do IVM*



Fonte: Autoria própria pelo software Infuzzy

A análise das Microrredes neste trabalho segue o fluxograma indicado na Figura 21 e configurado passo a passo pela Tabela 12 onde, a primeira etapa consiste em realizar uma análise técnica pelo software OpenDSS na rede elétrica principal escolhida, isto é feito visando estimar e conferir a adequação do indicador técnico conforme o item 5.1.1. Com esta primeira análise, será possível verificar quais os pontos para a implantação das Microrredes elétricas na rede principal, por meio da verificação das ramificações e análise dos pontos de carga dentro do circuito da rede principal. A segunda etapa será efetuada com o software Homer pro, onde é executado o dimensionamento da geração e demais condições da Microrrede para os pontos de carga em análise. Este processo permite verificar o indicador econômico conforme item 5.1.2. Em uma terceira etapa, o software QGIS é utilizado com a entrada de dados estatísticos dentro de mapas georreferenciados o qual irá setorizar as regiões conforme entrada dos dados do IBGE, sendo que nesta etapa terá o indicador social conforme item 5.1.3. O Índice de Viabilidade de Microrredes (IVM) a partir da entrada dos três indicadores, o técnico, o econômico e o social, é analisado e calculado na última etapa com o auxílio do software Infuzzy conforme item 5.3.

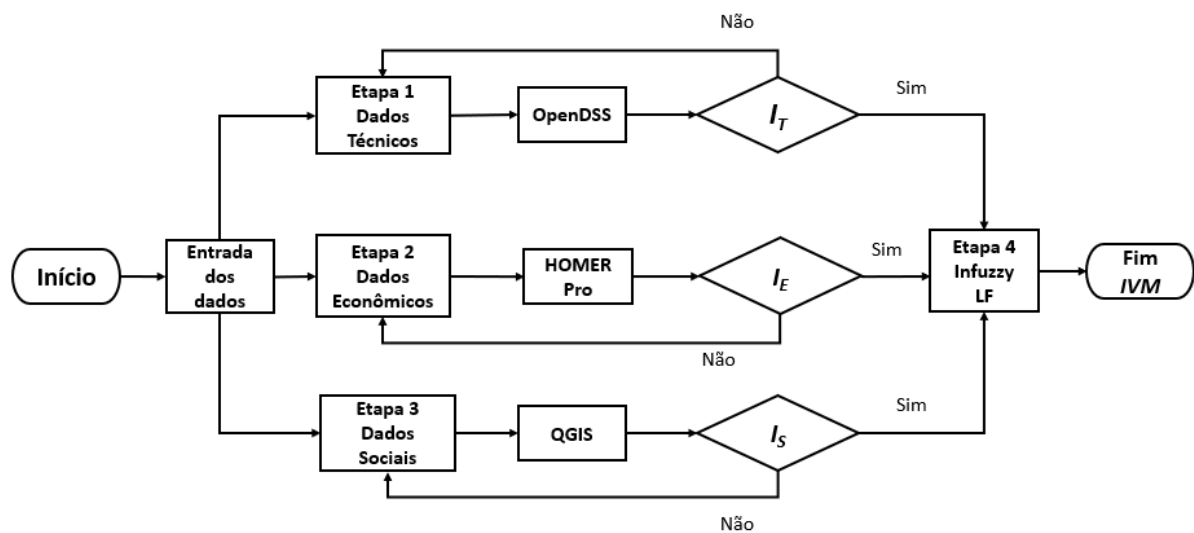


Tabela 12 - Dados para fluxograma do IVM

Etapa	Software	Ação	Efeito
1	OpenDSS	Análise técnica da Rede principal de distribuição	Indicador Técnico
2	Homer pro	Análise econômica: Custos +fração renovável	Indicador econômico
3	QGIS	Análise da base geográfica + inserção dados sociais	Indicador social
4	Infuzzy	Análise pela lógica <i>Fuzzy</i>	IVM

Fonte: Autoria própria

Figura 21 - Fluxograma para análise do IVM



Fonte: Autoria própria

Em uma situação exemplo, em que um consumidor tenha as seguintes dimensões:

- Dimensão técnica de 0,89. Obtido para uma condição em que a tensão de serviço 0,89 V (pu), ou seja, um valor de tensão considerado crítico.
- Dimensão econômica de 0,11. Este valor representa custo abaixo dos valores médios de todos os pontos para Microrredes analisados, dentro da mesma rede, além de uma fração de geração elétrica por fontes renováveis acima da média.
- Dimensão social de 0,5. Este valor caracteriza que 50% das habitações de determinada região têm renda de até 1 salário-mínimo.

O tratamento destas três dimensões leva como resultado um valor de IVM de 0,85, ou seja, um resultado favorável para a implantação de uma Microrrede elétrica.

Para efeitos de visualização dos resultados obtidos em análise do IVM, foi aqui definido a Tabela 13 com a seguinte codificação de cores, onde demonstra que, se o valor do IVM obtido for favorável à implantação de uma Microrrede, então terá a cor verde na tabela de resultados. Caso tenha valor médio, deverá ter cor amarela, com isso a ação será de aprofundar estudos para verificar a viabilidade da implantação da Microrrede. Mas, caso tenha resultado baixo, terá cor vermelha, indicando que é um ponto desfavorável à implantação de uma Microrrede.

*Tabela 13 - Tabela de cores*

Visualização de cores	Cor	Situação	Ação
Verde		Favorável	Instalar Microrrede
Amarelo		Meio termo	Aprofundar estudos
Vermelho		Desfavorável	Não favorável a instalar Microrrede

Fonte: autoria própria

Para uma comparação entre duas situações para possível implantação de Microrredes, foram analisados dois pontos de carga com as seguintes denominações, Microrrede 12 e Microrrede 17, sendo que estes valores fazem parte da análise da rede principal proposta neste trabalho.

*Tabela 14 - Comparativo de Microrredes*

Microrrede	Indicador			Índice geral da Microrrede (IVM)	Condição
	Técnico	Econômico	Social		
12	0,97366	-0,13	0,55	0,14	não favorável
17	0,97366	0,18	0,75	0,86	favorável

Fonte: autoria própria

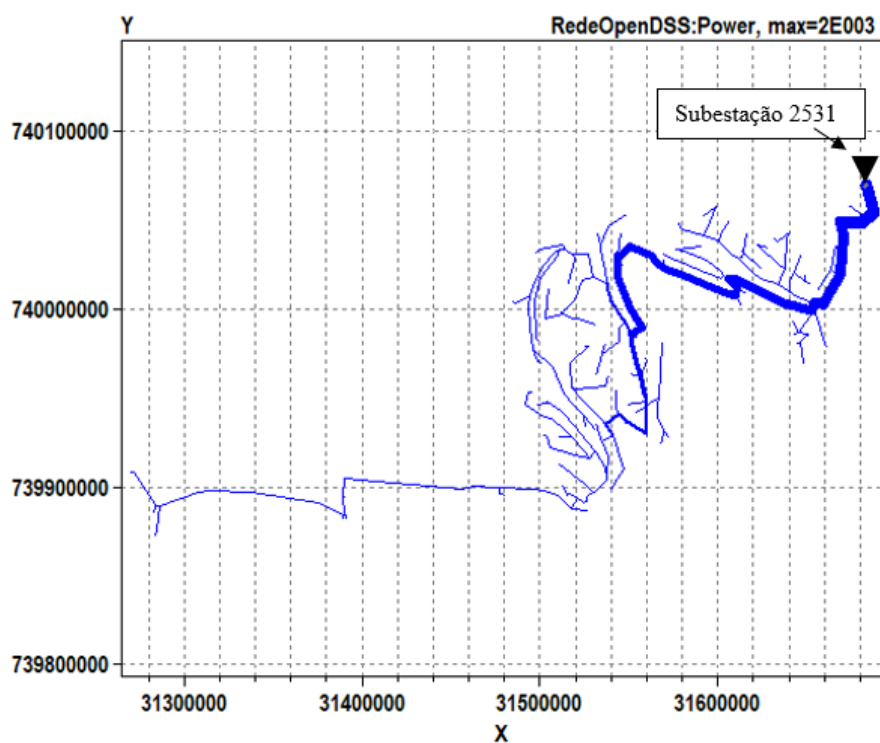
Para esta análise, foram obtidos os seguintes indicadores conforme Tabela 14 entre os pontos de Microrrede 12 e 17, onde prevalece o maior valor para o ponto 17, tendo IVM de 0,86, favorável à implantação da Microrrede neste ponto. Uma análise de cada indicador demonstra que na dimensão técnica, os índices são iguais, não favorecendo a nenhuma das Microrredes analisadas. Já para o indicador econômico, o maior valor da Microrrede 17 atrai

os investimentos nessa direção, o que direciona a um custo menor e maior fração de fonte renovável na geração elétrica que a Microrrede 12. Quanto ao indicador social, o maior valor para a Microrrede 17 também traduz o seu favorecimento na sua implantação, por possuir um número maior de habitações com renda de até 1 salário-mínimo, uma diferença de 0,75 para 0,55 da Microrrede 12. Com os resultados obtidos, percebe-se que a Microrrede 17 é a escolhida para a implantação de Microrrede em desfavorecimento à Microrrede 12. Para este exemplo evidencia-se a implantação da Microrrede em um local onde o impacto social é maior, favorecendo assim a Microrrede 17.

## 6 RESULTADOS

Uma rede de distribuição de energia elétrica na região metropolitana de São Paulo foi escolhida para possibilitar uma aplicação da metodologia proposta, mais precisamente nos municípios de Osasco e Barueri. A rede apresenta uma área geográfica com elevada densidade demográfica e com condições sociais adversas. O circuito que alimenta uma determinada área destes municípios, foi chamado de 467 e tem as seguintes especificações: circuito de média tensão com alimentação a partir da subestação 2531 com transformação de 88/13,8 kV de tensão nominal; potência nominal de 40 MVA; 467 barras; e 166 transformadores MT/BT para alimentar conjunto de consumidores em baixa tensão. A Figura 22 ilustra esse circuito.

*Figura 22 - Rede de distribuição 467*



Fonte: Opendss

### 6.1 CENÁRIOS

A Tabela 15 apresenta cinco cenários com avaliação em 166 pontos possíveis para a instalação de Microrredes, coincidentemente aos 166 pontos de transformação de tensão, ou seja, os pontos de conexão onde se considera o início da Microrrede serão os barramentos de baixa tensão dos transformadores MT/BT:

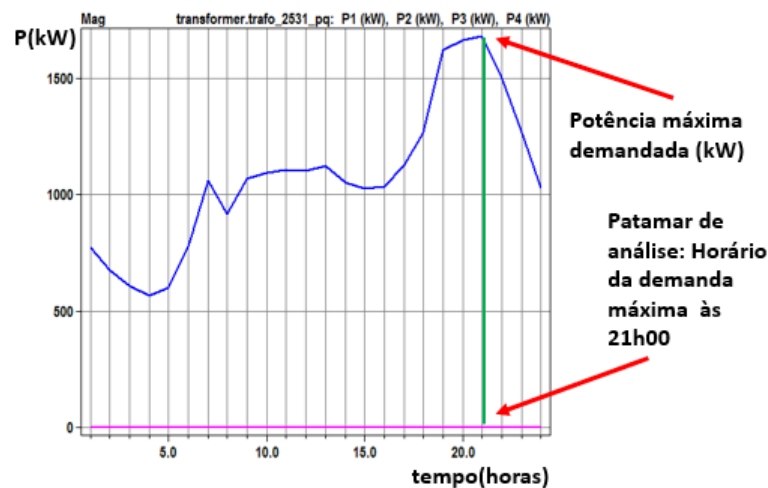
Tabela 15 - Cenários de análise

Cenário	Análise	Alimentação	Observação
1	Rede base (467 barras)	Totalmente pela rede principal	
2	Rede base + 30%	Totalmente pela rede principal	Possível acréscimo da demanda em 30% uniforme em toda a rede.
3	Rede base (467 barras)	Rede principal + Microrredes	
4	Rede base + 30%	Conforme Cenário 3	Valores das Microrredes não acrescidos.
5	Rede base + 30%	Rede principal + Microrredes	Valores das Microrredes com novo cálculo, acrescidos em 30%.

Fonte: Autoria própria

A Figura 23 mostra a curva de carga na subestação durante o período de 24 horas na análise inicial da rede 467. Da figura, verifica-se que o circuito atinge o ponto de máxima potência às 21 horas, o qual será o patamar a ser analisado para a viabilidade das Microrredes. Os valores de P1, P2 e P3 correspondem às fases A, B e C, respectivamente.

Figura 23 - Curva da carga da subestação – primeiro cenário



Fonte: Opendss

A Tabela 16 indica uma comparação entre o Cenário 1 e o Cenário 2. Essa análise reflete a variação do consumo da carga com consequente aumento da potência elétrica e das perdas elétricas no sistema, e um decréscimo da tensão mínima para um aumento do consumo na carga em 30%. Os resultados obtidos alertam para a necessidade de uma futura intervenção

na rede de distribuição pela queda da tensão mínima ou pelo nível de perdas elétricas causadas no sistema por carga elevada. Como indicado anteriormente, a análise técnica foi feita no horário que apresenta a maior consumo, às 21 horas.

*Tabela 16 - Comparativo entre Rede de Distribuição sem Microrredes: cenário 1 vs cenário 2*

Rede 467	Sem Microrredes	
Indicadores técnicos às 21 horas	Cenário 1	Cenário 2
Tensão Máxima (pu)	0,99404	0,99217
Tensão Mínima (pu)	0,95679	0,94348
Potência Elétrica (MW)	5,04818	6,57494
Perdas Elétricas no sistema (MW)	0,118315	0,202016
Porcentagem das Perdas Elétricas no sistema (%)	2,344	3,073

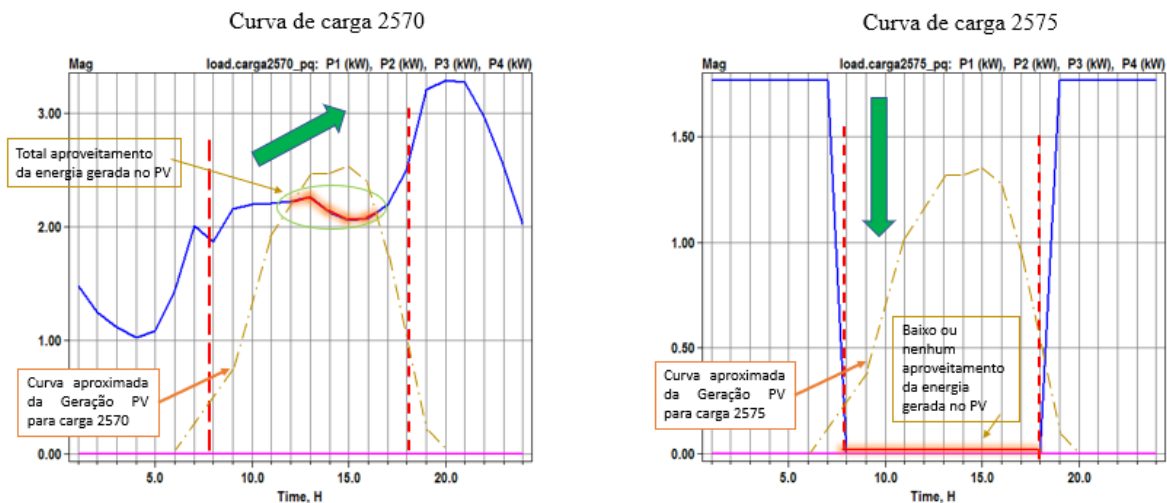
Fonte: Autoria própria

Pela Tabela 16 verifica-se um aumento expressivo das perdas elétricas provocadas justamente pelo aumento da carga entre os cenários 1 e 2, o que demonstra a necessidade de futuras melhorias no sistema, com ampliação da rede elétrica acarretando maiores investimentos. Outro ponto a ser analisado está relacionado ao valor da tensão mínima, na qual o valor obtido pela simulação para o cenário 2 é apresentado por 0,9438, considerado neste trabalho como um valor de tensão precária, o que indica a necessidade de investimentos para melhoria do nível de tensão. Portanto, é possível mitigar os impactos negativos do crescimento de carga com a implantação das Microrredes. Para tanto, foram instalados GD's em diferentes pontos da rede para uma análise dos diversos tipos de curva de cargas e o formato das Microrredes (tipo de gerador, com ou sem armazenamento) para atender essa variedade. Como via de análise, foram aqui escolhidas duas cargas (Carga 2570 e carga 2575) para um entendimento mais acurado. A Figura 24 mostra suas respectivas curvas de carga, onde é possível notar a diferença de consumo no período diário onde, entre o horário das 8 às 18 horas, a carga 2570 está em pleno consumo de energia, enquanto a carga 2575 tende a zerar o consumo. No caso de alimentação por GD fotovoltaica, a potência gerada estará intrinsecamente ligada a

esse horário, quando na maior intensidade de geração pelo horário de maior intensidade solar. Para esta verificação são apresentadas as curvas de potência gerada e carga consumida no período de 24 horas do dia para ambas as cargas em análise.

A Figura 24 também ilustra as curvas de geração nas barras que alimentam a carga 2570 e seu gerador 4\_51 à esquerda e carga 2575 e seu gerador 4\_57 à direita respectivamente. É possível notar que o horário de maior geração está entre às 10 e 18 horas do dia, portanto, o gerador 4\_51 consegue suprir quase que totalmente a carga 2570 no período citado, enquanto o gerador 4\_57 não supre a carga 2575 no período de maior geração fotovoltaica, sendo que para esta última situação, a tendência seria o aproveitamento de energia armazenada durante o período de não consumo, fator importante para a verificação dos custos de introdução do sistema Microrredes com armazenamento de energia.

*Figura 24 - Comparativo de cargas  $P(kW) \times t(h)$*



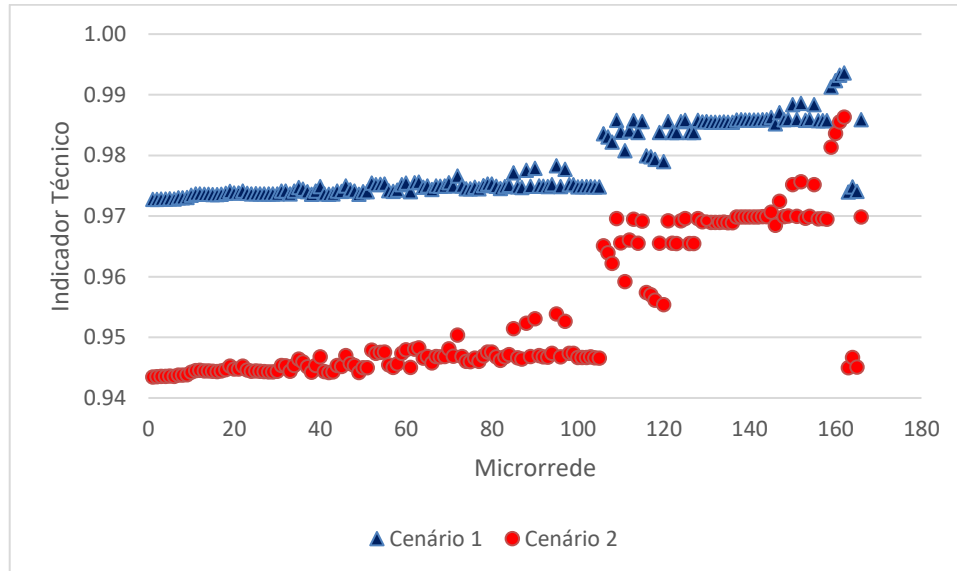
Fonte: autoria própria baseado no software OpenDSS

### 6.1.1 Análise técnica da rede principal pelo OpenDSS

Esta análise compreende a verificação dos demais pontos da rede com o intuito de identificar as condições técnicas de atendimento das normas para os pontos de Microrrede. Para tanto, os valores obtidos pela análise do fluxo de carga como comparativo será a tensão (pu) de linha entre as fases A e B para a barra em análise. Isto será feito pensando na comparação de valores dentro de um mesmo parâmetro.

Os valores estão expressos na Figura 25 e o termo Tensão (pu) será o valor do Indicador técnico  $I_T$  para a entrada no IVM em um comparativo dos Cenários 1 e 2.

*Figura 25 - Indicador de tensão - comparativo de cenários 1 x 2*



Fonte: Autoria própria

Pelo gráfico analisado na Figura 25 nota-se a diminuição dos valores de tensão no Cenário 2 em relação ao Cenário 1, justamente pelo aumento da carga na rede principal, o que poderá em algum tempo, prejudicar os consumidores pelo nível da tensão elétrica fornecida pela concessionária de energia, além de impactar na qualidade do sistema como um todo, obrigando a concessionária a priorizar investimentos no circuito analisado, visando adequar as suas operações nos níveis de tensão elétrica.

Para tanto, a alternativa de implantação de Microrredes elétricas no sistema parece ser promissora, podendo “aliviar” o sistema elétrico da rede analisada nos níveis de tensão, mas como também em outros elementos que influem na qualidade da energia elétrica.

### 6.1.2 Análise econômica pelo HOMER Pro

Esta análise corresponde ao conteúdo econômico da implantação de Microrredes baseadas em geração preferencialmente renovável e próxima ao consumidor. Para tanto, a análise englobou os custos (NPC) pela instalação das Microrredes e seus RED's em confronto aos custos de serem mantidas as condições atuais de alimentação pela rede elétrica principal, além da fração de fontes renováveis para a geração distribuída da Microrrede em análise.

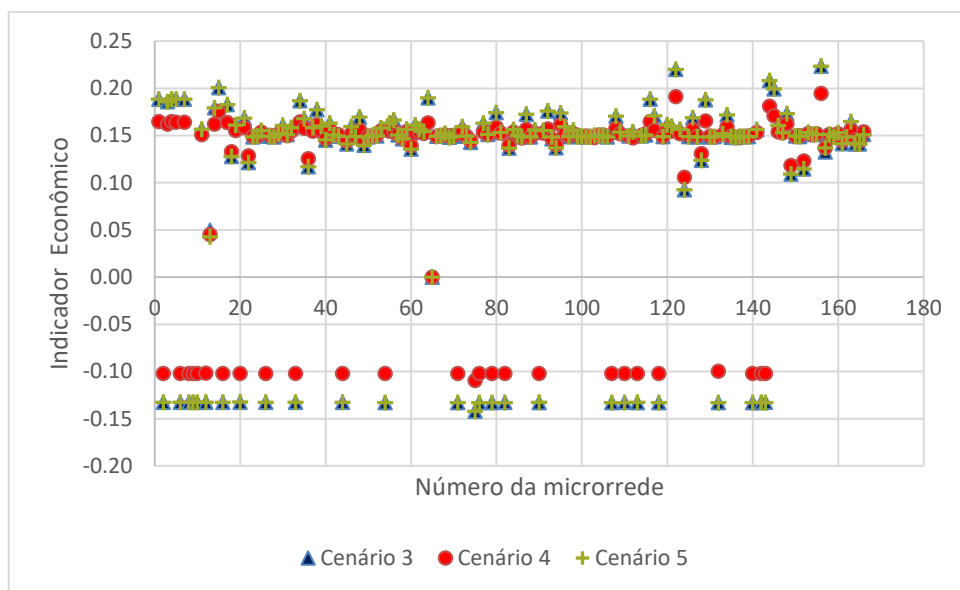


A comparação é feita entre as Microrredes analisadas nos cenários propostos, Cenários 3, 4 e 5.

Para a análise econômica, a comparação é feita entre os 166 transformadores de distribuição MT/BT em análise, onde estão os PAC para alimentação dos grupos de cargas, sendo que os maiores valores positivos determinam a preferência da instalação de uma Microrrede em relação à outra.

Os valores calculados pelo software HOMER Pro estão analisados na Figura 26:

*Figura 26 - Comparação de cenários econômicos*



Fonte: Autoria própria com valores obtidos pelo Homer pro

Para a análise econômica, os valores mais adequados que viabilizam a implantação das Microrredes, são os mais elevados com valores em 0,14, que possuem custos com menores diferenças do caso base além de refletir positivamente na fração de geração renovável. As Microrredes com valores negativos podem não interessar por necessitarem de sistemas de armazenamento para compensarem a geração em horários de pouco consumo.

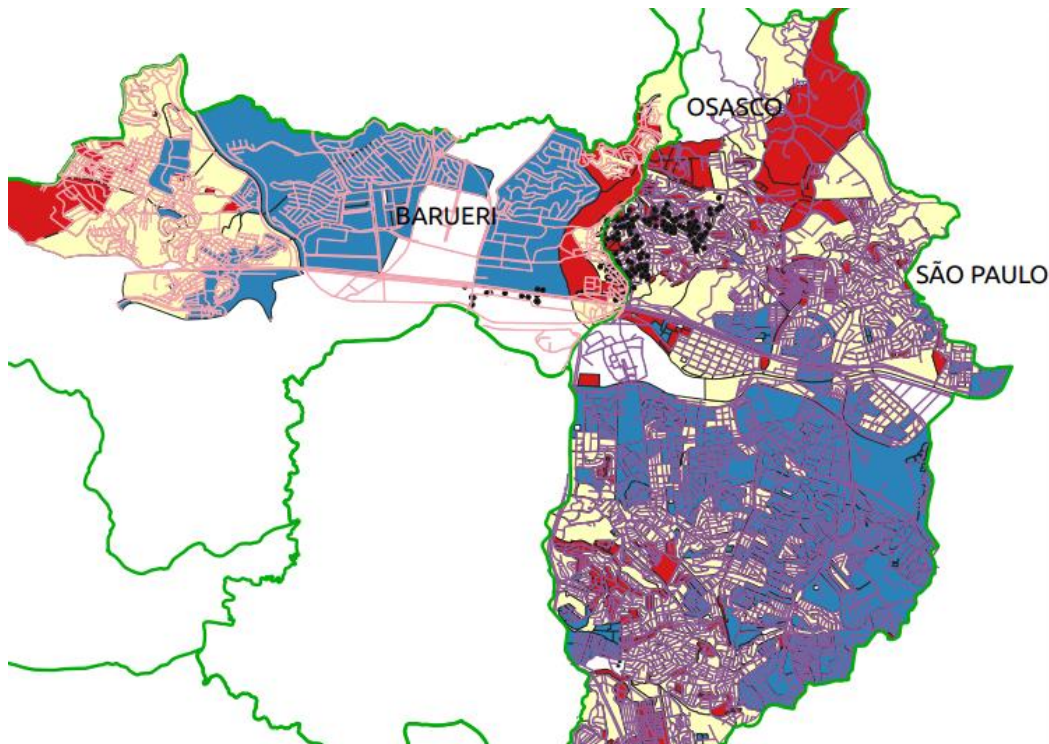
Para uma análise entre as condições, verifica-se o aumento de valores quando se compara o Cenário 3 com o Cenário 4, provocados pelo acréscimo de carga em relação ao cenário base crescendo o dimensionamento da potência elétrica da Microrrede o que influencia em custos maiores, mas mantém valores do índice econômico equivalentes de um cenário para o outro. Para o Cenário 5, com acréscimo de 30% na carga, mantém o dimensionamento da Microrrede conforme o Cenário 3, mas mostra um decréscimo do item provocado pela

diminuição da diferença entre os valores do NPC, com um rebaixamento na fração da geração renovável.

### 6.1.3 Análise social pelo software QGIS

Neste trabalho foram criados mapas no software QGIS para inserção geográfica dos municípios em análise, de Barueri e Osasco no estado de São Paulo e ilustra-se na Figura 27. Após posicionamento geográfico da rede de distribuição e locação dos municípios, foi realizado o cruzamento de dados com os existentes no IBGE para avaliação dos locais onde se apresentavam determinadas características sociais.

*Figura 27 - Mapa setores censitários Osasco / Barueri*



Fonte: Elaboração própria através do software QGIS

- Simbologia:
- Divisa de município
  - Rede principal de distribuição
  - Setor em azul – Setores onde até 33% das habitações tem renda de até 1 salário-mínimo;
  - Setor em amarelo – Setores onde até 33% a 67% das habitações tem renda de até 1 salário-mínimo;
  - Setor em vermelho – Setores onde acima de 67% das habitações tem renda de até 1 salário-mínimo;

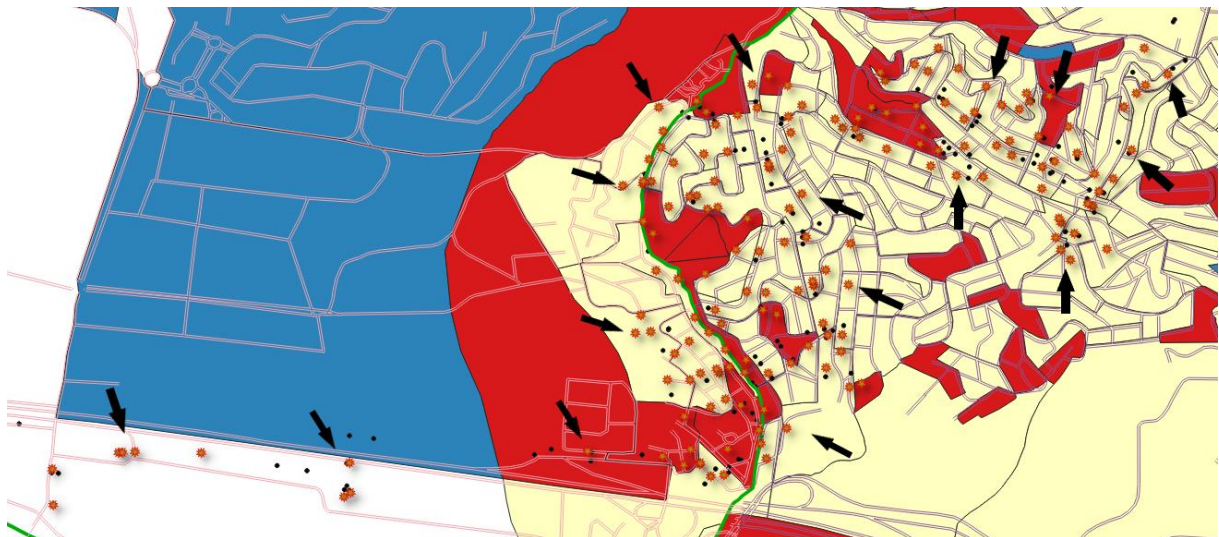
Neste trabalho, a avaliação é feita entre o cruzamento de dados estatísticos do IBGE com a área geográfica onde a rede está situada. O dado estatístico para compor esta avaliação

é: renda média por habitação, vinculado a “1 salário-mínimo” como fator determinante do indicador social.

A Figura 27 apresenta o mapa com a localização espacial onde se insere a rede 467 e os setores censitários (lembrando, que são unidades territoriais de coleta das operações censitárias, como visto neste trabalho em 5.1.3) conforme indicação do IBGE. A diferenciação das cores determina as porcentagens de residências com renda de até 1 salário-mínimo por setor.

Na Figura 28, está a localização geográfica dos pontos das Microrredes analisadas e suas áreas de abrangência social conforme os setores onde essas Microrredes se inserem, obtendo assim os valores dos indicadores sociais para cada uma dessas Microrredes.

*Figura 28- Localização das Microrredes nos setores censitários*



Fonte: Elaboração própria através do software QGIS

Simbologia:



Posição espacial de cada Microrrede elétrica

A Tabela 17 apresenta-se os valores relativos ao indicador social por algumas das Microrredes analisadas e suas posições geográficas, sendo que a tabela completa está inserida nos ANEXO como Tabela 23. Salienta-se que o indicador social proposto está relacionado aos dois cenários estudados, 3 e 4, conforme Tabela 15. Há o interesse na instalação de novas tecnologias e próximas ao consumidor por auxiliar no desenvolvimento econômico e social das pessoas, portanto, regiões onde as Microrredes estejam em setores com o valor acima de 0,67, possuem melhores condições para receber as Microrredes.

*Tabela 17 - Dimensão Social de uma parte da SDEE avaliada*

Microrrede	Longitude	Latitude	Município	Setor	Indicador Social
10	-46,8142471	-23,5086588	Barueri	427190	0,67
11	-46,8099313	-23,5095397	Barueri	427191	0,55
12	-46,8094714	-23,5094918	Barueri	427191	0,55
13	-46,8103279	-23,5091116	Barueri	427191	0,55
14	-46,8102970	-23,5090750	Barueri	427191	0,55
15	-46,8108829	-23,5091396	Barueri	427133	0,75
16	-46,8116254	-23,5088338	Barueri	427133	0,75
17	-46,8106429	-23,5085924	Barueri	427133	0,75
18	-46,8093405	-23,5085804	Barueri	427134	0,69
19	-46,8079879	-23,5089180	Osasco	452519	0,65
20	-46,8081834	-23,5083871	Osasco	452519	0,65

Fonte: Elaboração própria dados QGIS/IBGE

#### **6.1.4 Índice de Viabilidade das Microrredes**

Com a adoção do software Infuzzy, identifica-se o valor dos IVM's para cada Microrrede, com isso é possível identificar condições de implante das Microrredes. Conforme a adoção das cores da Tabela 13, os valores na cor verde indicam de alto impacto para a implantação de Microrredes, amarelo indica valor de médio, e vermelho indica um valor de baixo impacto.

A avaliação das 20 primeiras de 166 Microrredes analisadas estão nas Tabela 18 para o Cenário 3, na Tabela 19 para o Cenário 4 e na Tabela 20 para o Cenário 5.

Tabela 18 - Cenário 3

Cenário 3		Índices		
Microrrede	Técnico	Econômico	Social	IVM
1	0,9727	0,19	0	0,14
2	0,9728	-0,13	0	0,14
3	0,9728	0,19	0	0,14
4	0,9728	0,19	0	0,14
5	0,9729	0,19	0	0,14
6	0,9728	-0,13	0	0,14
7	0,9730	0,19	0	0,14
8	0,9730	-0,13	0	0,14
9	0,9731	-0,13	0	0,14
10	0,9734	-0,13	0,67	0,5
11	0,9736	0,16	0,55	0,5
12	0,9737	-0,13	0,55	0,14
13	0,9736	0,05	0,55	0,5
14	0,9736	0,18	0,55	0,5
15	0,9736	0,20	0,75	0,86
16	0,9735	-0,13	0,75	0,14
17	0,9736	0,18	0,75	0,86
18	0,9737	0,13	0,69	0,85
19	0,9741	0,16	0,65	0,5
20	0,9738	-0,13	0,65	0,15

Fonte: autoria própria

Tabela 19 - Cenário 4

Cenário 4		Índices		
Microrrede	Técnico	Econômico	Social	IVM
1	0,9435	0,16	0	0,5
2	0,9435	-0,10	0	0,15
3	0,9436	0,16	0	0,5
4	0,9436	0,16	0	0,5
5	0,9436	0,16	0	0,5
6	0,9436	-0,10	0	0,15
7	0,9438	0,16	0	0,5
8	0,9438	-0,10	0	0,15
9	0,9438	-0,10	0	0,15
10	0,9443	-0,10	0,67	0,5
11	0,9445	0,15	0,55	0,86
12	0,9446	-0,10	0,55	0,5
13	0,9445	0,05	0,55	0,5
14	0,9445	0,16	0,55	0,86
15	0,9444	0,18	0,75	0,86
16	0,9444	-0,10	0,75	0,5
17	0,9445	0,16	0,75	0,86
18	0,9447	0,13	0,69	0,85
19	0,9452	0,16	0,65	0,85
20	0,9448	-0,10	0,65	0,5

Fonte: autoria própria

Tabela 20 - Cenário 5

Cenário 5		Índices		
Microrrede	Técnico	Econômico	Social	IVM
1	0,9435	0,19	0	0,5
2	0,9435	-0,13	0	0,14
3	0,9436	0,19	0	0,5
4	0,9436	0,19	0	0,5
5	0,9436	0,19	0	0,5
6	0,9436	-0,13	0	0,14
7	0,9438	0,19	0	0,5
8	0,9438	-0,13	0	0,14
9	0,9438	-0,13	0	0,14
10	0,9443	-0,13	0,67	0,5
11	0,9445	0,16	0,55	0,86
12	0,9446	-0,13	0,55	0,5
13	0,9445	0,04	0,55	0,5
14	0,9445	0,18	0,55	0,86
15	0,9444	0,20	0,75	0,86
16	0,9444	-0,13	0,75	0,5
17	0,9445	0,18	0,75	0,86
18	0,9447	0,13	0,69	0,85
19	0,9452	0,16	0,65	0,85
20	0,9448	-0,13	0,65	0,5

Fonte: autoria própria

Para efeito de comparação, conforme a Tabela 20 que reflete os IVM's para o Cenário 5, temos: Microrrede 9 com IVM = 0,14, Microrrede 10 com IVM = 0,5 e a Microrrede 11 com IVM = 0,86, demonstra uma viabilidade crescente para a implantação de Microrrede, dando total preferência para a Microrrede número 11.

### 6.1.5 Comparando Microrredes

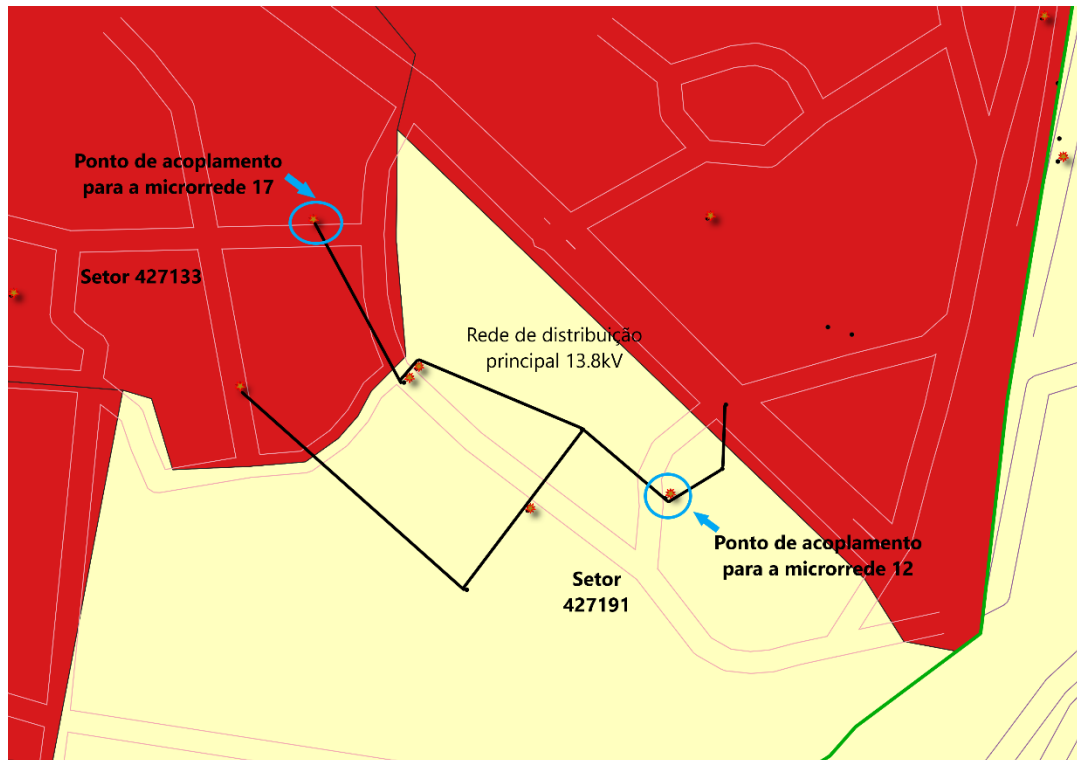
Os cenários analisados mostram a possibilidade da implantação de Microrredes mesmo com possíveis acréscimos de carga durante um determinado período de tempo. Na comparação exemplo mostrada na Tabela 21 entre as Microrredes 12 e 17, a escolha adequada seria a implantação da Microrrede 17, onde o IVM tem o valor de 0,86, conforme Cenário 3.

Tabela 21 - Comparação Microrredes por IVM

Microrrede	Indicador			Índice geral da Microrrede	Condição
	Técnico	Econômico	Social		
12	0,97366	-0,13	0,55	0,14	não favorável
17	0,9736	0,18	0,75	0,86	favorável

Fonte: autoria própria

Figura 29 - Microrrede 12 x Microrrede 17

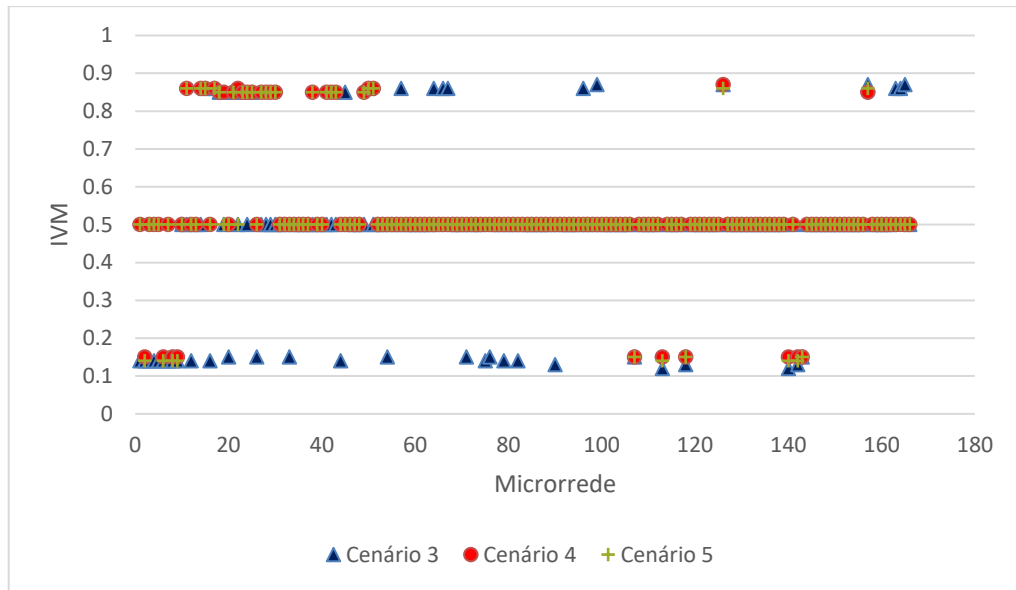


Fonte: autoria própria com o uso do QGIS

A posição espacial dos dois pontos de carga em análise estão na Figura 29, sendo que estão muito próximos, mas em setores censitários diferentes, denotados no indicador social conforme a Tabela 21, onde sobressai o  $I_S$  do ponto de carga 17 com o valor 0,75, favorecendo a sua escolha contra o valor do ponto de carga número 12. Outro dado interessante está relacionado ao indicador econômico  $I_E$ , onde novamente há uma vantagem para o ponto número 17.

Para uma comparação entre os maiores valores do IVM dos 166 pontos para Microrredes analisadas, foram encontrados os pontos 99, 126 e 165, conforme Figura 30. Este gráfico traz a distribuição de todos os pontos analisados para os cenários propostos, sendo que as quatro indicações de Microrredes foram as que alcançaram maior valor para viabilizar a implantação das Microrredes, com  $IVM = 0,87$  dentro do Cenário 3, portanto, são as mais indicadas seguindo as dimensões técnica, econômica e social, necessitando entre elas, uma distinção dos indicadores para uma comparação adequada. O gráfico demonstra claramente diversos pontos com IVM médio, mas também com IVM baixo, demonstrando a pouca viabilidade destes pontos a tornarem-se Microrredes, por questões diversas das aqui analisadas, mas que demonstra a capacidade de análise do sistema aqui proposto.

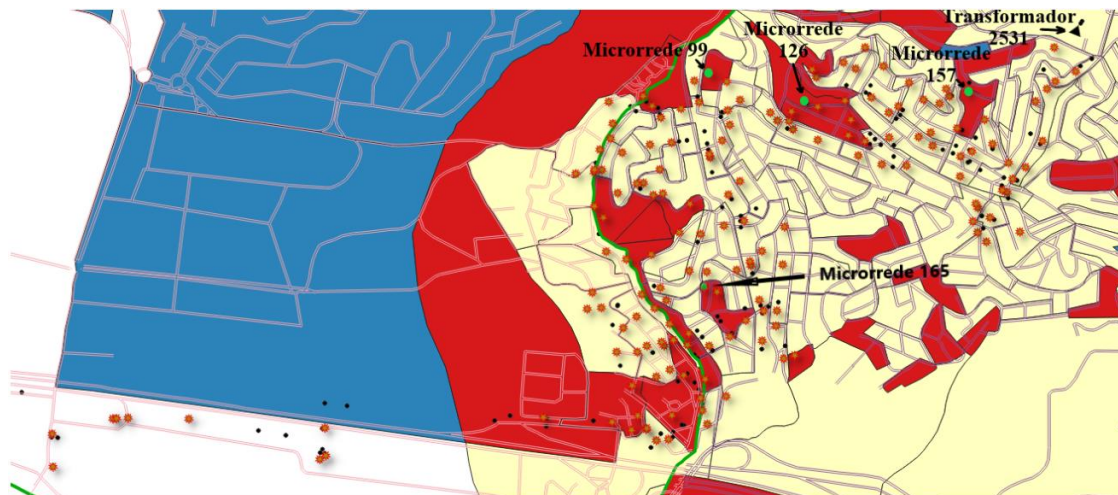
*Figura 30 - IVM dos 166 pontos em análise da Rede 467*



Fonte: autoria própria

A posição espacial na Rede 467 é demonstrada na Figura 31 com a localização dos pontos de maior valor do IVM. Percebe-se a distribuição dos pontos pela rede principal, o que denota a conjunção dos termos analisados nas três dimensões, não diferenciando o peso dos indicadores.

*Figura 31 - Pontos de alto IVM*



Fonte: autoria própria com o uso do QGIS

Para tanto, uma análise mais aprofundada entre os indicadores pode trazer maiores subsídios para encontrar a Microrrede ideal a ser implementada conforme Tabela 22:



Tabela 22 - Comparação entre pontos de alto IVM

Microrrede	Indicador			Índice das Microrrede <i>IVM</i>
	$I_T$	$I_E$	$I_S$	
99	0,9752	0,15	0,78	0,87
126	0,9838	0,17	0,82	0,87
165	0,9741	0,14	0,79	0,87

Fonte: autoria própria

O ponto de número 126 é o que está em uma área com um indicador que pode causar maior impacto na dimensão social, com  $I_S = 0,82$ , se a intenção for privilegiar as questões sociais, essa pode ser a Microrrede escolhida para ser implantada entre as analisadas, onde 82% das residências deste setor possuem renda média de até 1 salário-mínimo e apenas 18% das residências estão acima desta condição.

## 7 CONCLUSÕES

As Microrredes elétricas podem tornar-se um novo modelo de mercado de geração e consumo energia elétrica, introduzindo o conceito de maior interatividade dos consumidores com a produção da eletricidade, bem como mudando o papel do consumidor convencional, de consumidor para consumidor - gerador.

Neste trabalho busca-se um diálogo entre o consumidor e a análise técnica possibilitando a conquista dos novos prossumidores da energia elétrica. Para as empresas que atuam no mercado de geração distribuída e gerenciamento, há possibilidade de diversificar suas atuações, com ampliação dos serviços de uma forma mais completa, além de projetar e instalar, podem monitorar e gerenciar pequenas áreas da rede elétrica e os consumidores atendidos por ela.

Tratando-se do poder público, além do interesse de atender uma determinada população com eletricidade, também deve suprir suas necessidades econômicas e sociais, com planejamento adequado junto com a implantação do serviço de eletricidade. Portanto, a implantação das Microrredes elétricas pode trazer diversos benefícios para os agentes do mercado elétrico, mas traz também diversos desafios, a contar as questões técnicas, com mudanças provocadas na inserção da potência elétrica gerada na rede principal, pelos desafios econômicos provenientes dessa mudança e pelas questões dos profissionais que atuam na área.

Neste trabalho buscou-se propor uma metodologia que possibilite encontrar a melhor solução entre pontos de carga possíveis de se tornarem Microrredes, com o uso de ferramentas computacionais, em sua maioria, gratuitos e de fácil entendimento, dando opções para alteração dos requisitos necessários, bem como tendo oportunidade de colocar pesos distintos, conforme a necessidade e entendimento de quem estiver analisando o procedimento.

Considerou-se uma rede elétrica real, na qual foram analisadas as dimensões técnica, econômica e social na mesma proporção, justamente para não provocar maior impacto de uma dimensão sobre as outras. Para os indicadores analisados, o indicador técnico demonstrou uma tendência de melhora na tensão elétrica com a implantação de Microrredes, uma vez que possibilita a diminuição das cargas atendidas pela rede principal. Para o indicador econômico, possibilitou dimensionar os custos da implantação do sistema de Microrredes bem como a sua área de abrangência, comparando-se todos os pontos propostos para se tornarem Microrredes. Já no indicador social, possibilitou identificar regiões com residentes em situação de maior vulnerabilidade.

Também foi analisado um aumento de carga de até 30%, que é possível de acontecer com o passar do tempo devido ao crescimento das demandas em eletricidade. Nesse sentido, demonstra-se que as Microrredes ainda podem ser utilizadas para adiar investimentos na rede de distribuição principal, de maneira a atender novas cargas sem comprometer o nível da tensão no fornecimento aos consumidores. Além disso, as Microrredes podem levar a diminuição das perdas elétricas.

Um aspecto novo e importante nesta pesquisa, foi a inserção do indicador social na metodologia proposta. Demonstra-se a necessidade de implementar as Microrredes nas regiões mais vulneráveis, trazendo melhorias sociais. Com uma análise conjunta com os dados técnicos e econômicos, podemos observar a possibilidade de incrementar políticas públicas com o acréscimo das Microrredes nesses locais com maior vulnerabilidade, descentralizando trabalho e a renda da energia elétrica. Além das melhorias dos dados sociais de uma determinada região, pode promover tecnologia e o desenvolvimento regional.

O resultado aqui obtido pelo Índice de Viabilidade de Microrrede, ou simplesmente IVM, traduz a oportunidade de implementar Microrredes e todas as suas tecnologias envolvidas em determinada área de uma rede elétrica principal, com maior efetividade dos recursos aplicados.

## 7.1 TRABALHOS FUTUROS

Para os próximos trabalhos pretende-se:

- Ampliar as dimensões e seus respectivos indicadores para possibilitar uma condição mais abrangente dos resultados.

- Introduzir a conjunção das ferramentas em um único modelo computacional, possibilitando a agilidade das análises.

- Aplicar o modelo produzido em outras redes elétricas para colher resultados diversos.

- Diversificar os modelos esquemáticos para multiplicar o formato de Microrredes analisadas.

## BIBLIOGRAFIA

ABDELSALAM, A. K. et al. High-Performance Adaptive Perturb and Observe MPPT Technique for Photovoltaic-Based Microgrids. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 26, n. 4, p. 1010-1021, abril 2011.

ALCÂNTARA, M. V. P. Microrredes inteligentes: um novo modelo de negócio para a distribuição de energia elétrica. **O Setor Elétrico**, n. 71, 2011.

ANEEL. Manual de controle patrimonial do setor elétrico, 11 agosto 2015. Disponível em:

<<http://aneel.gov.br/documents/656815/14887121/MANUAL+DE+CONTROLE+PATRIMONIAL+DO+SETOR+EL%C3%89TRICO++MCPSE/3308b7e2-649e-4cf3-8fff-3e78ddeb98b>>.

ANEEL. **Micro e Minigeração**: Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Caderno Temático. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2016. 31 p.

ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Prodist. **Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica**, Brasília, n. Revisão 10, p. 88, agosto 2018.

ANEEL. Resultado dos leilões de expansão de geração. **Agência Nacional da Energia Elétrica**, 2021. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYmMzN2Y0NGMtYjE5Ny00OTNILWl1YzctZjI0ZTUwMDg5ODE3IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiJ9>>. Acesso em: 31 mar. 2021.

ARAÚJO, E. **Canal Solar**, 2020. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/noticias/item/616-brasil-tera-primeira-cooperativa-de-energia-solar-em-favela-do-rj>>. Acesso em: julho 2020.

BANDEIRA, S. D. L.; VIEIRA, R. G.; GUERRA, M. I. D. S. Analysis of the Power Quality of a Grid-Connected Photovoltaic System. **IEEE Latin America Transactions**, New York, v. 18, n. 4, p. 714-721, Abril 2020.

BARROS, L. C. D.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática**. Campinas: Coleção IMECC Textos didáticos, v. 5, 2006.

BELLIDO, M. M. H. **Microrredes Elétricas**: Uma proposta de implementação no Brasil. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, v. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), 2018.

BERTINAT, P. Introdução às Microrredes Elétricas Inteligentes: Módulo 2, Políticas e implementação de microrredes isoladas. **ABMR**, 2020. Disponível em: <<http://ghmsolutions.rds.land/cronogramacompleto-pt>>. Acesso em: outubro 2020.

BRITO, M.; ALVES, M.; CANESIN, C. Microgrid System with Emulated PV Sources for Parallel and Intentional Islanding Operations. **IEEE Latin America Transactions**, v. 18, n. 8, p. 1462-1469, agosto 2020.

BRONIN, S. C.; MCCAR, P. R. Peaceful Coexistence: Independent Microgrids. **University of Connecticut**, 2013. Disponível em: <<https://works.bepress.com/bronin/16/>>. Acesso em: outubro 2020.

CALLEJO, L. H. **Microrredes eléctricas: Integración de generación renovable distribuida, almacenamiento distribuido e inteligencia**. 1. ed. Madrid: Ibergarceta, 2019.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Unicamp - Instituto de Computação, 1996. 193 p.

CASILLAS, G. I. et al. **Voltage Regulators, Capacitor Banks and Distributed Resources Allocation in a Distribution Network System**. 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America. Quito: ISGT Latin America. 2017. p. 1-6.

CATUOGNO, G. R. et al. Methodology for the Selection and Sizing of an Isolated MicroGrid Based on Economic Criteria. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, n. 11, p. 1761-1770, Novembro 2019.

CHEGOSKI, D. D. S.; AOKI, A. R.; YAMAKAWA, E. K. Sistema de suporte à decisão fuzzy para seleção de serviços de encomendas em compras on line. **Postal Brasil Revista técnico-científica dos Correios**, Brasília, v. 1, p. 9-17, Julho-dezembro 2017.

CHOWDHURY, S.; CHOWDHURY, S. P.; CROSSLEY, P. **Microgrids and Active Distribution Networks**. 1. ed. London: Institution of Engineering and Technology, 2009.

COSTA E SILVA, Y. F. F.; BORTONI, E. C. Sistemas de armazenamento de energia elétrica em redes inteligentes: Características, oportunidades e barreiras. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 22, n. 1, p. 48-73, Janeiro 2016.

CUZNER, R. The Socially Responsible Microgrid. **IEEE Electrification Magazine**, v. 6, n. 4, p. 2-5, dezembro 2018.

DASH, R. L. et al. **Cost and sensitivity analysis of a microgrid using HOMER-Pro software in both grid connected and standalone mode**. International Conference on Recent Innovations in Electrical, Electronics & Communication Engineering - (ICRIEECE). Bhubaneswar: IEEE. 2018. p. 3444-3449.

DINIZ, A. S. A. C. et al. **The Important Contribution of Photovoltaics in a Rural School Electrification Program**. IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference. Waikoloa: IEEE. 2006. p. 2528-2531.

DVOŘÁK, P. et al. Renewable energy investment and job creation; a cross-sectoral assessment for the Czech Republic with reference to EU benchmarks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 69, p. 360-368, Março 2017.

ENEL. Projeto Microrredes Inteligentes, 2020. Disponível em: <Disponível em <https://www.enel.com.br/pt-ceara/Sustentabilidade/iniciativas/archive/projeto-microrredes-inteligentes-traz-inovao-para-o-mercado-de-energia-brasileiro.html>>. Acesso em: maio 2020.

EPE. **Nota de Discussão julho 2018 - Recursos Energéticos Disgtribuídos: Impactos no Planejamento Energético**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, p. 18. 2018.

EPE. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2024 – Ciclo 2019**. EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 55. 2020.

EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030, Parâmetros de Custo - Geração e Transmissão**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 2021.

ETO, J. H. et al. **The CERTS Microgrid Concept, as Demonstrated at the CERTS/AEP Microgrid Test Bed**. Office of Electricity - U.S. Department of Energy. Berkeley, p. 11-12. 2018.

FARIAS, V. Nova geração de energia gera novos empregos. **Profissionais para Energias do Futuro**, p. 5-6, agosto 2018.

FEKRY, H. M. et al. Power Management Strategy Based on Adaptive Neuro Fuzzy Inference System for AC Microgrid. **IEEE Access**, v. 8, p. 192087-192100, Outubro 2020.

FUSHENG, L.; RUIHENG, L.; FENGQUAN, Z. **Microgrid Technology and Engineering Application**. London: Elsevier, 2016.

HATZIARGYRIOU, N.; ASANO, H.; IRAVANI R, M. C. Microgrids. An overview of ongoing research, development, and demonstration projects. **IEEE Power Energy**, agosto 2007. 78-94.

HOMER ENERGY. HOMER Pro 3.14 User Manual, 2020. Disponível em: <<https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/index.html>>. Acesso em: 21 fev. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE**, 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>>. Acesso em: 10 Julho 2020.

IBGE. Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA. **IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2020. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>>. Acesso em: 10 dezembro 2020.

ITAIPU. Itaipu e Copel desenvolvem projeto inédito de microgrid no Oeste Paranaense, 2019. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2019/04/itaipu-copel-desenvolvem-projeto-inedito-microgrid/35956>>. Acesso em: julho 2020.

JHA, S. K.; STOA, P.; UHLEN, K. **Socio-economic Impact of a Rural Microgrid**. 4th International Conference on the Development in the in Renewable Energy Technology (ICDRET). Dhaka: IEEE. 2016. p. 1-4.

KANCHEV, H. et al. Energy Management and Operational Planning of a Microgrid With a PV-Based Active Generator for Smart Grid Applications. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 58, n. 10, p. 4583-4592, out. 2011.

KATIRAEI, F. et al. Microgrids Management:. **IEEE power & energy magazine**, p. 54-65, Maio/Junho 2008.

KNOPKI, R. Desenvolvimento de itinerários formativos para a Rede Federal de Educação Profissional, científica e tecnológica na área de energia solar fotovoltaica. **Profissionais para energias do futuro.**, p. 7, Agosto 2018.

KUMAR, Y. V. P.; BHIMASINGU, R. Renewable energy based microgrid system sizing and energy management for green buildings. **Journal of Modern Power Systems and Clean Energy** , Nanjing, v. 3, p. 1-13, Janeiro 2015.

LASSETER, R. H. Smart Distribution: Coupled Microgrids. **IEEE**, v. 99, p. 1074-1082, junho 2011. ISSN 6.

LASSETER, R. H. et al. **Integration of Distributed Energy Resources: The CERTS MicroGrid Concept**. CERTS - Consortium for Electric Reliability Technology Solutions. Berkeley, p. 32. 2003.

LEONE, A. D. S.; NETO, P. D. B.; V. JUNIOR, J. A. **Study of Voltage Profile in Distribution Network using**. 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE). Niterói: IEEE. 2018. p. 1-6.

MME. Programa Luz para todos: Um Marco Histórico – 10 milhões de brasileiros saíram da escuridão. **Ministério das Minas e Energia**, Brasília, 2020. Disponível em: <Disponível em <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/asp/>>. Acesso em: maio 2020.

MURTAGH, C. et al. **Educational microgrid — A microgrid training platform and emulator**. IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC). Ottawa: IEEE. 2016. p. 5.

NEOENERGIA. APOSTA DA NEOENERGIA EM MICRORREDE DE GERAÇÃO SOLAR LEVA ENERGIA PARA O INTERIOR BAIANO. **Neoenergia**, 2020. Disponível em: <Disponível em <https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/aposta-neoenergia-microrrede-geracao-solar-leva-energia-para-interior-baiano.aspx>>. Acesso em: 11 outubro 2020.

NREL. **2020 Standard Scenarios Report: A U.S. Electricity Sector Outlook**. National Renewable Energy Laboratory. NREL. Golden, p. 41. 2020.

OCDE. Avaliação do Desempenho Ambiental: Brasil 2015. **OECD Publishing, 2015**, Paris, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264240094-en>>.

OLIVEIRA, G. A. **Microrredes em Mercados de Energia Elétrica**. Florianópolis: Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), 2017.

PAQUETE, A. D.; DIVAN, D. M. Providing Improved Power Quality in Microgrids: Difficulties in Competing with Existing Power-Quality Solutions. **IEEE Industry Applications Magazine**, v. 20, n. 5, p. 1-5, julho 2012.

PARHIZI, S. et al. State of the Art in Research on Microgrids: A Review. **IEEE Access**, v. 3, p. 890-925, junho 2015.

POTTY, K. A.; KENY, P.; NAGARAJAN, C. **An intelligent microgrid with distributed generation**. IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia). Bangalore: IEEE. 2013. p. 1-5.

QUEZADA, F. F.; SAMPER, M. E.; VARGAS, A. **Gestión óptima de recursos energéticos distribuidos en microrredes para el mejoramiento de la calidad del servicio técnico**. III Congreso de Las Americas de Distribución Eléctrica. Córdoba: CLADE. 2016.

QUIROGA, G. A. et al. **Evaluation of Distributed Generation Impacts on Distribution Networks under Different Penetration Scenarios**. 2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America. Montevideo: ISGT LATAM. 2015. p. 136-141.

QUIROGA, G. A. et al. **Study of the Distributed Generation Impact on Distributed Networks, Focused on Quality of Power**. 2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power. Belo Horizonte: ICHQP. 2016. p. 855-860.

REN21. Renewables 2020 Global Status Report., 2020. Disponível em: <Disponível em <https://www.ren21.net/gsr-2020>>. Acesso em: maio 2020.



RIGNEL, D. G. D. S.; CHENCI, G. P.; LUCAS, C. A. Uma introdução a lógica fuzzy. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica**, p. 17-28, 2011. Disponível em: <<http://periodicos.unifacel.com.br/index.php/resiget/article/view/153>>. Acesso em: 20 maio 2020.

RODRIGUES, I. R.; CONTI, A. D. Desafios na proteção de microrredes. VI Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. **O Setor Elétrico**, p. 22-25, fevereiro 2017.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e Modelagem Fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2007.

SOORIYAARACHCHI, T. M. et al. Job creation potentials and skill requirements in, PV, CSP, wind, water-to-energy and energy efficiency value chains. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 52, p. 653-668, Dezembro 2015.

STAROSTA, J. Energia com qualidade. **O Setor Elétrico**, abril 2010.

STRASSER, T. et al. A Review of Architectures and Concepts for Intelligence in Future Electric Energy Systems. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 62, n. 4, p. 2424-2438, abril 2015.

TSIOUMAS, E. et al. **Energy management and power control strategy at the low wind speed region of a wind generation microgrid**. IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Firenze: IEEE. 2016. p. 6.

ZAMBRANO-ASANZA, S.; QUIROS-TORTOS, J.; FRANCO, J. F. Optimal site selection for photovoltaic power plants using a GIS-based multi-criteria decision making and spatial overlay with electric load. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 143, p. 1-16, 2021.

ZHOU, S. et al. Artificial Intelligence Based Smart Energy Community Management: A Reinforcement Learning Approach. **CSEE Journal of Power and Energy Systems**, Beijing, v. 5, n. 1, p. 1-10, Março 2019.

## ANEXOS

Tabela 23 - Posição Microrrede + Dimensão Social

Microrrede	Longitude	Latitude	Município	Setor	Indicador Social
1	-46,8329662	-23,5105444	Barueri	427124	s/n
2	-46,8329968	-23,5092880	Barueri	427124	s/n
3	-46,8306780	-23,5087103	Barueri	427124	s/n
4	-46,8305408	-23,5087028	Barueri	427124	s/n
5	-46,8277798	-23,5087172	Barueri	427124	s/n
6	-46,8300999	-23,5086809	Barueri	427124	s/n
7	-46,8227780	-23,5102567	Barueri	427124	s/n
8	-46,8225508	-23,5101149	Barueri	427124	s/n
9	-46,8225863	-23,5090680	Barueri	427124	s/n
10	-46,8142471	-23,5086588	Barueri	427190	0,67
11	-46,8099313	-23,5095397	Barueri	427191	0,55
12	-46,8094714	-23,5094918	Barueri	427191	0,55
13	-46,8103279	-23,5091116	Barueri	427191	0,55
14	-46,8102970	-23,5090750	Barueri	427191	0,55
15	-46,8108829	-23,5091396	Barueri	427133	0,75
16	-46,8116254	-23,5088338	Barueri	427133	0,75
17	-46,8106429	-23,5085924	Barueri	427133	0,75
18	-46,8093405	-23,5085804	Barueri	427134	0,69
19	-46,8079879	-23,5089180	Osasco	452519	0,65
20	-46,8081834	-23,5083871	Osasco	452519	0,65
21	-46,8082446	-23,5079250	Barueri	427134	0,69
22	-46,8072737	-23,5078537	Osasco	451972	0,55
23	-46,8108605	-23,5074422	Barueri	427134	0,69
24	-46,8099372	-23,5071107	Barueri	427132	0,66
25	-46,8088887	-23,5070506	Barueri	427134	0,69
26	-46,8094155	-23,5068377	Barueri	427134	0,69
27	-46,8114517	-23,5061630	Barueri	427131	0,66
28	-46,8106586	-23,5061632	Barueri	427131	0,66
29	-46,8102932	-23,5059327	Barueri	427132	0,66
30	-46,8096370	-23,5059222	Barueri	427132	0,66
31	-46,8079212	-23,5059326	Osasco	452050	0,64
32	-46,8087457	-23,5058965	Osasco	452050	0,64
33	-46,8097341	-23,5057866	Barueri	427132	0,66
34	-46,8092816	-23,5057096	Barueri	427132	0,66
35	-46,8058942	-23,5057399	Osasco	451972	0,55
36	-46,8071257	-23,5055721	Osasco	452422	0,64
37	-46,8086968	-23,5054608	Barueri	427132	0,66
38	-46,8111944	-23,5052449	Barueri	427131	0,66
39	-46,8094201	-23,5050940	Barueri	427130	0,58

40	-46,8065200	-23,5049561	Osasco	452422	0,64
41	-46,8106892	-23,5048174	Barueri	427132	0,66
42	-46,8125749	-23,5045246	Barueri	427131	0,66
43	-46,8120357	-23,5044767	Barueri	427131	0,66
44	-46,8100003	-23,5044922	Barueri	427130	0,58
45	-46,8095547	-23,5041985	Osasco	452052	0,69
46	-46,8060003	-23,5041856	Osasco	452050	0,64
47	-46,8076217	-23,5038731	Osasco	452055	0,65
48	-46,8104916	-23,5039709	Barueri	427130	0,58
49	-46,8123803	-23,5038947	Barueri	427131	0,66
50	-46,8081028	-23,5037092	Osasco	452054	0,79
51	-46,8080124	-23,5031057	Osasco	452053	0,52
52	-46,8086771	-23,5030701	Osasco	452055	0,65
53	-46,8068659	-23,5030378	Osasco	452055	0,65
54	-46,8063260	-23,5028644	Osasco	452059	0,66
55	-46,8063621	-23,5027095	Osasco	452059	0,66
56	-46,8110803	-23,5026276	Barueri	427130	0,58
57	-46,8101280	-23,5024401	Osasco	452434	0,72
58	-46,8118498	-23,5023388	Barueri	427130	0,58
59	-46,8059063	-23,5023175	Osasco	452058	0,57
60	-46,8082473	-23,5016673	Osasco	452055	0,65
61	-46,8090591	-23,5016037	Osasco	452056	0,52
62	-46,8073529	-23,5013445	Osasco	452055	0,65
63	-46,8065884	-23,5011669	Osasco	452059	0,66
64	-46,8119593	-23,5010372	Osasco	452131	0,82
65	-46,8100483	-23,5001883	Osasco	452433	0,61
66	-46,8122961	-23,5006089	Osasco	452131	0,82
67	-46,8086526	-23,5005158	Osasco	452130	0,9
68	-46,8114081	-23,5001045	Osasco	452127	0,63
69	-46,8096851	-23,5001246	Osasco	452433	0,61
70	-46,8071825	-23,5001676	Osasco	452433	0,61
71	-46,8104247	-23,4997196	Osasco	452433	0,61
72	-46,8067414	-23,4996531	Osasco	452060	0,59
73	-46,8106783	-23,4997421	Osasco	452433	0,61
74	-46,8130134	-23,4993635	Barueri	427205	0,6
75	-46,8123086	-23,4993003	Barueri	427129	0,55
76	-46,8120138	-23,4992225	Osasco	452127	0,63
77	-46,8122967	-23,4992102	Barueri	427129	0,55
78	-46,8097998	-23,4992022	Osasco	452128	0,47
79	-46,8078755	-23,4987469	Osasco	452187	0,52
80	-46,8079120	-23,4986191	Osasco	452187	0,52
81	-46,8112401	-23,4985624	Osasco	452187	0,52
82	-46,8120913	-23,4984450	Osasco	452187	0,52

83	-46,8101785	-23,4982587	Osasco	452127	0,63
84	-46,8093550	-23,4981780	Osasco	452186	0,57
85	-46,8074242	-23,4981001	Osasco	452132	0,52
86	-46,8116831	-23,4980245	Osasco	452524	0,6
87	-46,8115970	-23,4974566	Barueri	427205	0,6
88	-46,8071322	-23,4975076	Osasco	452190	0,66
89	-46,8097630	-23,4972251	Osasco	452186	0,57
90	-46,8072146	-23,4969486	Osasco	452186	0,57
91	-46,8089946	-23,4968819	Osasco	452187	0,52
92	-46,8100996	-23,4967787	Barueri	427205	0,6
93	-46,8117521	-23,4966241	Barueri	427205	0,6
94	-46,8083059	-23,4966370	Osasco	452187	0,52
95	-46,8067368	-23,4965556	Osasco	452190	0,66
96	-46,8104371	-23,4964046	Barueri	427126	0,83
97	-46,8072467	-23,4958538	Osasco	452190	0,66
98	-46,8084808	-23,4958223	Osasco	452189	0,56
99	-46,8079088	-23,4955129	Osasco	452191	0,78
100	-46,8050712	-23,5064177	Osasco	451972	0,55
101	-46,8053675	-23,5051681	Osasco	451972	0,55
102	-46,8053303	-23,5045907	Osasco	452057	0,57
103	-46,8058334	-23,5046006	Osasco	451972	0,55
104	-46,8051105	-23,5028324	Osasco	452057	0,57
105	-46,8050439	-23,5013907	Osasco	452058	0,57
106	-46,8003888	-23,4990584	Osasco	452063	0,63
107	-46,8013291	-23,4990123	Osasco	452063	0,63
108	-46,8022243	-23,4986760	Osasco	452133	0,56
109	-46,7993896	-23,4983024	Osasco	452435	0,53
110	-46,8019722	-23,4981361	Osasco	452134	0,67
111	-46,8037729	-23,4980802	Osasco	452133	0,56
112	-46,8010486	-23,4979832	Osasco	452435	0,53
113	-46,7999245	-23,4979630	Osasco	452435	0,53
114	-46,8026054	-23,4979041	Osasco	452134	0,67
115	-46,7994611	-23,4977959	Osasco	452135	0,53
116	-46,8047159	-23,4976754	Osasco	452133	0,56
117	-46,8048694	-23,4973541	Osasco	452133	0,56
118	-46,8053108	-23,4973409	Osasco	452133	0,56
119	-46,8025092	-23,4973092	Osasco	452134	0,67
120	-46,8055798	-23,4970389	Osasco	452133	0,56
121	-46,8010635	-23,4970392	Osasco	452197	0,52
122	-46,8047764	-23,4969940	Osasco	452134	0,67
123	-46,8037753	-23,4968160	Osasco	452134	0,67
124	-46,8006909	-23,4967975	Osasco	452135	0,53
125	-46,7991230	-23,4966892	Osasco	452135	0,53
126	-46,8043007	-23,4966210	Osasco	452193	0,82
127	-46,8027310	-23,4965779	Osasco	452194	0,55

128	-46,7997378	-23,4965466	Osasco	452135	0,53
129	-46,8017242	-23,4964604	Osasco	452197	0,52
130	-46,8002870	-23,4958901	Osasco	452135	0,53
131	-46,8038284	-23,4956866	Osasco	452194	0,55
132	-46,8039919	-23,4953967	Osasco	452440	0,67
133	-46,8023260	-23,4953609	Osasco	452194	0,55
134	-46,8012673	-23,4952648	Osasco	452197	0,52
135	-46,8027927	-23,4951207	Osasco	452194	0,55
136	-46,8019626	-23,4945524	Osasco	452195	0,53
137	-46,7973343	-23,5019652	Osasco	451978	0,47
138	-46,7960563	-23,5015826	Osasco	451979	0,44
139	-46,7976721	-23,5016064	Osasco	451977	0,42
140	-46,7971954	-23,5010376	Osasco	451978	0,47
141	-46,7976593	-23,5006611	Osasco	451977	0,42
142	-46,7977365	-23,5005076	Osasco	451977	0,42
143	-46,7965460	-23,5000789	Osasco	452139	0,61
144	-46,7967299	-23,4999946	Osasco	452139	0,61
145	-46,7963324	-23,4995658	Osasco	452139	0,61
146	-46,7983383	-23,4994704	Osasco	452065	0,51
147	-46,7958368	-23,4991200	Osasco	452142	0,59
148	-46,7983243	-23,4987048	Osasco	452065	0,51
149	-46,7978848	-23,4985185	Osasco	452065	0,51
150	-46,7964894	-23,4989492	Osasco	452139	0,61
151	-46,7970976	-23,4982296	Osasco	452065	0,51
152	-46,7951944	-23,4981155	Osasco	452142	0,59
153	-46,7984505	-23,4976360	Osasco	452135	0,53
154	-46,7974081	-23,4973049	Osasco	452065	0,51
155	-46,7954601	-23,4966050	Osasco	452140	0,59
156	-46,7987472	-23,4964136	Osasco	452136	0,52
157	-46,7980691	-23,4962318	Osasco	452066	0,75
158	-46,7988706	-23,4961322	Osasco	452136	0,52
159	-46,7950229	-23,4961315	Osasco	452142	0,59
160	-46,7947057	-23,4958462	Osasco	452141	0,65
161	-46,7939271	-23,4954669	Osasco	452141	0,65
162	-46,7947460	-23,4945535	Osasco	452140	0,59
163	-46,8080712	-23,5072046	Osasco	452051	0,81
164	-46,8046523	-23,5062941	Osasco	451867	0,9
165	-46,8097803	-23,5037169	Osasco	452054	0,79
166	-46,7978505	-23,5011836	Osasco	451977	0,42