

# Microrredes: o conceito através da história, incentivos e o mercado brasileiro

Renan Moreira Soares. Marcelo Escobar de Oliveira.

*Instituto Federal de Goiás, Itumbiara, Goiás. (e-mail: renanmoreirasoes@gmail.com)*

---

**Abstract:** In recent years, microgrids have been presented as a way to modernize the electrical network little by little, due to its intelligent control and its decentralized nature, which can be inserted in parts in the electrical system. Its use is capable of increasing system reliability and flexibility, boosting sustainability, among several benefits. The microgrid concept is not so recent, and has also been modernized little by little over time. Several factors influenced this evolution, either driving or stopping this process. Moments in history, as well as the development of new technologies, were important in the biography of these electrical systems. The history of microgrids, however, did not followed a linear path. In each country, its dissemination and growth followed different historical paths, mainly due to incentives and legislation on the subject or technologies linked to microgrids. This implies different obstacles and challenges in each country. In Brazil, despite the enormous potential for the application of microgrids, regulatory challenges are a major obstacle in their dissemination. Understanding how microgrids arrived at the current concept is important to understand why they are not yet widespread, being more applied in theoretical works and in laboratories. This work presents the history of the microgrids, focusing on the evolution of its concept over time, incentives and regulatory and technical challenges in Brazil for the expansion of microgrids.

**Resumo:** Nos últimos anos as microrredes têm se apresentado como uma forma de modernizar a rede elétrica aos poucos, devido ao seu controle inteligente e a sua natureza descentralizada, podendo ser inserida por partes no sistema elétrico. Sua utilização é capaz de aumentar confiabilidade e flexibilidade do sistema, impulsionar a sustentabilidade, dentre diversos benefícios. O conceito de microrrede não é tão recente, e também se modernizou aos poucos através do tempo. Diversos fatores influenciaram nessa evolução, seja impulsionando ou freando este processo. Momentos da história, assim como desenvolvimento de novas tecnologias, foram importantes na biografia destes sistemas elétricos. A história das microrredes, porém, não seguiu um caminho linear. Em cada país, sua disseminação e crescimento seguiu caminhos históricos diferentes, principalmente devido aos incentivos e legislações acerca do assunto ou tecnologias que as microrredes utilizam. Isto implica em obstáculos e desafios diferentes em cada país. No Brasil, apesar do enorme potencial para a aplicação de microrredes, os desafios regulatórios se mostram um grande empecilho na sua disseminação. Entender como as microrredes chegaram no conceito atual é importante para entender o motivo destas ainda não estarem em grande difusão, sendo mais aplicadas em trabalhos teóricos e em laboratórios. Este trabalho apresenta, portanto, a história das microrredes, com foco para a evolução do seu conceito ao longo do tempo, incentivos e os desafios técnicos e regulatórios no Brasil para a expansão das microrredes.

**Keywords:** Brazilian market; distributed generation; history; incentives; microgrids.

**Palavras-chaves:** geração distribuída; história; incentivos; mercado brasileiro; microrredes.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A história mostra que compreender determinados eventos acerca de algum assunto é crucial para determinar como estes eventos afetaram seu desenvolvimento. A história da eletricidade possui diversos capítulos, com eventos ímpares que afetaram a sua direção. A utilização massiva de grandes usinas de energia e de linhas de transmissão em corrente alternada são resultados de diversos eventos ao longo do tempo que tornaram estes mecanismos mais favoráveis. Seja evolução tecnológica, implicando em preços melhores, melhores resultados, também como o momento histórico contribuindo para sua ascensão frente aos sistemas de pequeno porte e à corrente contínua.

Novos capítulos dessa história estão sempre sendo escritos, com surgimento de novos conceitos, tecnologias, ou até mesmo com o renascer de uma personagem que não prosperou em capítulos anteriores. E isso não ocorre apenas com a eletricidade. A história da humanidade em si possui diversos capítulos com desenvolvimentos, retrocessos e retomadas.

As grandes usinas, como hidrelétricas, nucleares e térmicas, ainda possuem um grande destaque na história atual da eletricidade. Mas nesses novos capítulos têm dividido o protagonismo com figuras em ascensão, como as fontes de geração distribuída, que possuem tamanho relativamente reduzido. Os motivos que tornaram possível esse destaque

devem ser estudados, sendo parte crucial do desenvolvimento destas personagens na história.

A troca de protagonismo nas histórias da humanidade deve ser tratada com naturalidade. Ora permeado por dinossauros, ora por seres humanos, ora por outra espécie, o mundo está em constante evolução. A tecnologia desenvolvida também representa de forma clara a evolução, com exemplos notáveis como o rádio, a tv e a internet, coexistindo, mas com protagonismo em diferentes épocas. O mesmo vem acontecendo com as tecnologias relacionadas ao sistema elétrico.

O conhecimento adquirido não pode ser mudado, mas a ciência não é imutável. Assim, novas tecnologias vêm nascendo, se aprimorando e se tornando novos protagonistas de histórias que já estão sendo contadas. No contexto elétrico, as microrredes são personagens que estão caminhando para a posição de protagonistas. Mesmo em passos pequenos, com retrocessos e dificuldades, as microrredes se aliam ao progresso de outras tecnologias para encontrar seu espaço na história.

Para alcançar este protagonismo, as microrredes devem enfrentar obstáculos, competidores e encontrar até mesmo facilitadores. Assim, a história da eletricidade possui um novo capítulo, e compreender o que fez com que as microrredes se tornassem opção se faz necessário. Principalmente ao saber que estas ainda estão, em sua maioria, presentes apenas em estudos teóricos e em laboratórios (BELLIDO, 2018).

Este trabalho apresenta, portanto, um capítulo importante sendo escrito na história da eletricidade e dos sistemas elétricos. Mostrando a busca das microrredes pelo seu espaço de protagonismo, com os motivos que as fizeram passar por tantos papéis, como figurantes, coadjuvantes e até protagonistas. Assim, uma linha do tempo é apresentada com a história das microrredes, a evolução do seu conceito, além dos incentivos e desafios no mercado brasileiro. Ao fim, conclusões sobre estes acontecimentos são feitas, não colocando um fim na história das microrredes, mas visando as próximas páginas dessa história.

## 2. MICRORREDES

O modelo centralizado das redes de energia elétrica tradicionais, apesar de funcional, tem dividido espaço com um novo modelo em grande expansão nos últimos anos. Conhecido como geração distribuída (GD), este modelo possui como característica a geração próxima ao local de consumo, sem utilizar longas redes de transmissão. Além de tornar as redes mais independentes, devido ao grande uso de fontes renováveis de energia.

As microrredes são redes de geração distribuída que podem operar isoladamente do sistema elétrico, contendo uma ou mais unidades geradoras distribuídas, normalmente de diferentes fontes. Segundo Junior e De Freitas (2020), são sistemas elétricos completos, ao possuir integrados numa só entidade a produção, fornecimento e consumo de energia elétrica. Além de serem controláveis, onde todos os seus elementos estão sob domínio próprio. Todas as características

das microrredes contribuem para sua autonomia e confiabilidade. São também ótimas opções para a modernização do sistema elétrico de potência, inserindo inteligência aos poucos na rede.

Diferentes métodos de controle sofisticados desempenham papel vital nas microrredes, conforme destacado por Junior (2019). O autor pondera que o controle deve ser feito com rapidez e confiança, já que microrredes são impactadas por pequenas mudanças no consumo e na geração.

Para Falcão (2009), uma microrrede deve ser dotada de técnicas de controle que permitam alterações da sua configuração interna e externa, controle de tensão, potência reativa, etc., de forma a atender aos requisitos dos consumidores.

Ao longo dos anos, com a evolução tecnológica e legislações, as microrredes, assim como seus métodos de controle, evoluíram a fim de se adaptar aos novos desafios.

## 3. HISTÓRIA DAS MICRORREDES

O conceito de microrrede evoluiu com o passar dos anos e com o desenvolvimento de novas tecnologias. Seu desenvolvimento está estritamente ligado aos acontecimentos da história. A seguir, uma breve evolução deste conceito é apresentada, destacando o contexto histórico que motivaram, ou atrapalharam, a evolução das microrredes.

### 3.1 O surgimento das Microrredes

A primeira microrrede surgiu da necessidade de Thomas Edison de levar energia elétrica para o oeste dos Estados Unidos da América (BELLIDO, 2018). Assim, em 1882, a estação Pearl Street começou a funcionar em Manhattan, sendo não apenas a primeira estação de energia elétrica do mundo (LOBENSTEIN e SULZBERGER, 2008), mas também a primeira microrrede de energia elétrica.

A geração de energia era realizada no que ficou conhecido como dínamos “Jumbo”, seis geradores de 27 toneladas que produziam, individualmente, cerca de 100 kW (LOBENSTEIN e SULZBERGER, 2008). Os dínamos estavam instalados na própria estação, que foi reforçada para suportar o peso destes. A estação possuía, inicialmente, capacidade para alimentar 7200 lâmpadas, localizada numa área densamente populada e possuindo imóveis residenciais e comerciais.

Com a geração próxima do consumo, a primeira estação de energia elétrica do mundo também foi a primeira microrrede. Além disso, é considerada uma microrrede, segundo Bellido (2018), já que a geração centralizada ainda não havia se estabelecido.

Estações similares a esta se desenvolveram na década seguinte em diferentes países, demonstrando os benefícios da eletrificação. No entanto, com os consumidores crescendo, a forma de se gerar e transmitir energia teve que acompanhar a demanda, dando lugar para o surgimento da geração centralizada, com suas grandes usinas e linhas de transmissão

em corrente alternada. Este crescimento cessou o incentivo para evolução das microrredes.

### 3.2 A Geração Centralizada

Em 1930, os grandes centros industriais, em maioria, eram alimentados por grandes sistemas com geração centralizada, permanecendo em ascensão pelas décadas seguintes (DUNN, 2000).

No início da década de 1950, o carvão dominava mais da metade da matriz energética mundial, segundo Pompermayer e Furtado (1998). No entanto, com as descobertas recentes, o petróleo passou a ser visado como fonte de energia. Este período ainda coincide com o final da Segunda Revolução Industrial, caracterizada pela utilização de aço, petróleo e eletricidade.

Nas décadas de 1960 e 1970, o petróleo era a principal fonte de energia do mundo (TEIXEIRA, 2016). No entanto, em 1973, ocorreu o primeiro choque da crise energética mundial, motivada por confrontos ideológicos e políticos.

Segundo Teixeira (2016), os efeitos da crise perduraram por toda a década de 1970, com o preço da energia aumentando. No entanto, a crise permitiu que a população tomasse conhecimento de que o petróleo era esgotável.

Esse momento da história foi importante para a evolução das microrredes, pois foi o momento em que a geração centralizada começou a ser questionada (SOLANO, 2015). Assim, a ideia era aumentar a oferta de energia e, principalmente, flexibilizar a demanda, não sendo mais dependente de uma fonte esgotável (POMPERMAYER & FURTADO, 1988).

Assim, apostou-se em diversas fontes alternativas. Na década de 1990, após o protocolo de Kyoto, os investimentos na busca por aumento da eficiência das fontes renováveis cresceram em diversos países (SOLANO, 2015). Além disso, houve esforços para expansão e disseminação dos sistemas de geração distribuída, contribuindo diretamente para a evolução das microrredes.

### 3.3 A Primeira Microrrede Inteligente

Apesar de ser considerada a primeira microrrede, aquela construída por Thomas Edison não foi a primeira microrrede de acordo com o conceito atual, passando pelos estágios já descritos e resumidos na Figura 1. Atualmente, esse tipo de microrrede é chamado de microrrede tradicional, ou convencional. O termo microrrede, atualmente, engloba inteligência, sendo as vezes utilizado o termo microrrede inteligente, ou moderna.

O novo conceito foi proposto por Lasseter (2002), na Universidade de Wisconsin-Madison (UWM), como uma solução para o problema de integrar microgerações sem interromper a operação da rede. Assim, para colocar esse conceito em teste, a universidade construiu a primeira

microrrede inteligente no Centro Tecnológico Dolan (BELLIDO, 2018).

Segundo Bellido (2018), evoluindo o conceito de microrrede, o Consórcio para Soluções Tecnológicas em Confiabilidade Elétrica (CERTs) dos Estados Unidos agregou os conceitos de aumentar a confiabilidade e flexibilidade de sistemas elétricos.

O conceito de microrredes CERTs é o mais popular conceito de microrrede no mundo (WU et. al, 2013). Este conceito assume uma microrrede como um agregado de cargas e recursos energéticos distribuídos (RED) operando como um único sistema. Este conceito, ainda segundo os autores, é uma importante referência para estudos e aplicações de microrredes na China.

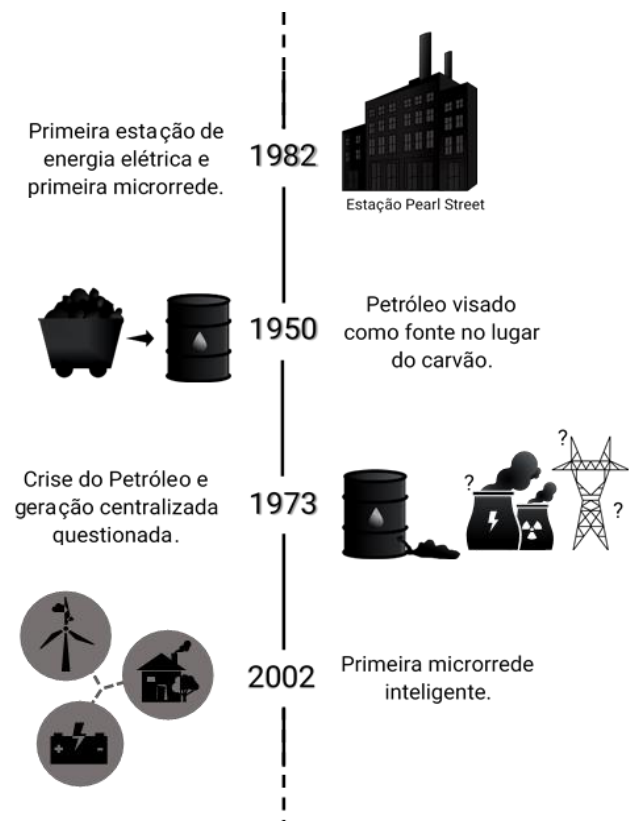


Fig. 1 Linha do tempo de microrredes: da primeira a primeira.

## 4. O MERCADO DE MICRORREDES NO BRASIL

A história teve papel fundamental no desenvolvimento das microrredes, assim como legislações e políticas de cada país. A seguir, há um pequeno histórico dos acontecimentos que impulsionaram o surgimento de microrredes no Brasil.

### 4.1 Incentivos às Microrredes

O Brasil teve diversos incentivos às microrredes tradicionais, principalmente em programas de eletrificação rural. O PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético nos Estados e Municípios) foi um dos pioneiros, abrindo portas para o programa Luz no Campo e LpT (Programa de Universalização Luz para Todos) (BELLIDO, 2018).

O PRODEEM, instaurado em 1994, apesar de possuir problemas no seu gerenciamento, promoveu a utilização de fontes renováveis de forma distribuída, atendendo localidades isoladas não supridas de energia pela rede elétrica convencional. O Luz no Campo, promovido em 2000, levou energia para as comunidades rurais, utilizando de fontes renováveis ou não. No entanto, não teve maior desenvolvimento também devido a problemas em sua gestão, mas estes programas foram essenciais para o surgimento do LpT.

Segundo Bellido (2018), o LpT regulamentou a utilização de sistemas individuais de geração de energia elétrica com fontes alternativas e microssistemas isolados de geração e distribuição de energia elétrica. Lançado em 2003, o programa atendeu a milhões de famílias, promovendo a utilização de sistemas eólicos, fotovoltaicos, híbridos, dentre outros.

Um pouco antes, em 2002, uma das primeiras políticas relacionadas a geração distribuída foi criada. A lei nº 10.439, conhecida como PROINFRA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), dividido em duas fases, promovendo a instalação desse tipo de geração (SILVA et. al, 2018).

Em 2012, a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) definiu alguns pilares da geração distribuída, como condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração e sistema de compensação. Esta foi um marco para a geração distribuída e, portanto, um marco também ao favorecer o crescimento de microrredes. Em 2015, foi revisada pela Resolução Normativa nº 687/2015, que, dentre mudanças e adições, regulamentou a geração compartilhada.

Ainda em 2015, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) abria caminho para a geração distribuída. De acordo com Silva et. al (2018), o programa consistia em ampliar a geração distribuída com fontes renováveis em casas, indústrias, comércio, escolas, universidades, etc. Para realizar essa ampliação, foram criadas e expandidas linhas de crédito e financiamento de projetos de geração distribuída, além do incentivo ao desenvolvimento tecnológico e inovação, dentre outras ações.

Este incentivo ao desenvolvimento tecnológico e inovação acaba aumentando a eficiência das fontes renováveis, além de reduzir os custos da mesma. Conforme notado por Borges (2016), o crescimento de microrredes depende da redução dos custos das tecnologias envolvidas. Na época, o autor levantou que algumas tecnologias já eram acessíveis, mas outras como sistemas de armazenamentos continuavam sendo um obstáculo financeiro.

Diversos outros programas foram realizados ao longo dos anos na esfera estadual, com destaque para Minas Gerais, considerado uma referência (SILVA et. al, 2018). Outras políticas também influenciaram diretamente o crescimento da geração distribuída e abriram caminhos para as microrredes, mesmo que não possam estar diretamente relacionadas.

A Organização das Ações Unidas (ONU), em 2015, propôs os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), uma

agenda com 17 metas interconectadas que abordam os principais desafios de desenvolvimento enfrentados no mundo. Dentre estas metas, encontra-se a meta 7 (energia limpa e acessível), que possui objetivos que vão desde garantir o acesso universal à energia elétrica, aumentar a participação de fontes renováveis, até dobrar a eficiência energética (SILVA, 2018).

A agenda prevê que estes objetivos sejam cumpridos até 2030. Os objetivos podem impulsionar o mercado de microrredes, pois estas estão aderidas aos ODS, já que contribuem diretamente e indiretamente com as metas (AOKI & OTTO, 2020). Segundo os autores, as microrredes contribuem com os objetivos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 11 e 17. A Figura 2 apresenta estes objetivos, além do objetivo 13.



Fig. 2 Objetivos ODS que são favorecidos pelas microrredes.

O objetivo 1 trata da erradicação da pobreza, onde as microrredes contribuem através da eletrificação de áreas sem acesso à energia elétrica. As microrredes tradicionais já são ferramentas que afetam diretamente esta meta. Além disso, segundo os autores, as microrredes podem contribuir através do incentivo do uso da eletricidade para a geração de renda. Essa geração de renda pode se dar através da venda de energia excedente para a concessionária, assim como na criação de empregos graças a um mercado em expansão.

Quanto ao objetivo 2, fome zero e agricultura sustentável, a contribuição se faz vista a partir da disponibilização de energia elétrica a comunidades, sendo importante para promover a agricultura sustentável. Além disso, é um passo fundamental para assegurar uma vida saudável e promover o bem estar, contribuindo para atingir as metas do objetivo 3. Assim como para promover oportunidades de aprendizagem, apoiando o cumprimento das metas do objetivo 4, que trata de educação. Ainda segundo os autores, a implantação de microrredes em comunidades isoladas é um passo importante para possibilitar a implantação de tratamento de água e saneamento, contribuindo com o objetivo 6.

Sendo um dos objetivos mais notáveis, o sétimo objetivo, que trata de energia limpa e acessível, pode se beneficiar das microrredes já que elas são peças fundamentais para integração de GD e RED, com destaque para as fontes renováveis. Além disso, dá suporte ao objetivo 9, indústria,

inovação e infraestrutura, contribuindo ao aumentar a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica, além de tornar as cidades mais sustentáveis do ponto de vista energético, contribuindo com o décimo primeiro objetivo. Quanto ao objetivo 17, as microrredes contribuem diretamente com a sétima meta, que busca promover o desenvolvimento e disseminação de tecnologias ambientalmente corretas.

Apesar de não ser considerado pelos autores supracitados, as microrredes contribuem de forma geral com o objetivo 13, sendo um instrumento de ação contra a mudança global do clima, ao utilizar fontes de energia renovável.

Ainda no que tange ao meio ambiente, em 2015, aconteceu, em Paris, a 21ª Conferência do Clima (COP-21), uma reunião internacional que discutiu e determinou ações mundiais para combater as mudanças climáticas, substituindo o Protocolo de Kyoto. Cada país apresentou ações que pretendia implementar para combater este aquecimento até 2030.

Dentre as ações do Brasil, destaca-se a meta de que sua matriz energética será 45% proveniente de fontes renováveis. Além disso, na geração de energia elétrica, 66% serão de fonte hídrica e 23% de fontes renováveis como eólica, solar e biomassa, com aumento de 10% na eficiência elétrica (LA ROVERE, 2016).

As microrredes são uma estratégia de cumprir estas metas, contribuindo de maneira sustentável e com menor impacto ambiental (BELLIDO, 2018). Além disso, as microrredes podem aumentar a eficiência energética, ao gerenciar de forma satisfatória o uso das fontes de energia.

Em 2020, foi criada a Associação Brasileira de Microrredes (ABMR), com a missão de promover o avanço tecnológico da inserção de microrredes no país. Além disso, buscam esclarecer o mercado brasileiro, as oportunidades e desvendar os desafios e as tecnologias envolvidas nas microrredes (AOKI & OTTO, 2020).

#### 4.2 Desafios Regulatórios

O conceito atual de microrrede não possui uma única definição, e em muitos países não é reconhecido legalmente, restringindo seu desenvolvimento (BELLIDO, 2018). Conforme apresentado por Oliveira (2017), o conceito de empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, ditado pela Resolução Normativa 687/2015, é o que mais se aproximava de uma microrrede na legislação brasileira à época. O autor destaca ainda que essa legislação não cobre outros aspectos da microrrede, como a desconexão e operação no modo ilhado.

Assim, o conceito de microrrede não se enquadrava integralmente em nenhuma das regulações brasileiras (BORGES, 2016). Ainda segundo o autor, o ilhamento, conforme levantando anteriormente, apesar de previsto nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), é vetado pelas concessionárias, a fim de garantir a segurança de seus trabalhadores e qualidade de energia.

Dentre os desafios levantados pelo autor, também se destacam as políticas de incentivo. As políticas de incentivos a geração distribuída podem não se aplicar à todas as microrredes, principalmente quando há uma fonte não renovável envolvida. Oliveira (2017) se questiona se uma fração mínima de geração renovável deveria ser um critério para estas políticas.

Bellido (2018) pondera que para os consumidores não saírem prejudicados, os órgãos reguladores e políticos devem considerar um novo modelo para o setor elétrico, com inclusão das microrredes. Assim, permitindo a igualdade na competição entre os mercados. As legislações tratando do assunto começaram a tomar forma recentemente, passando pelos estágios já descritos e resumidos na Figura 3.

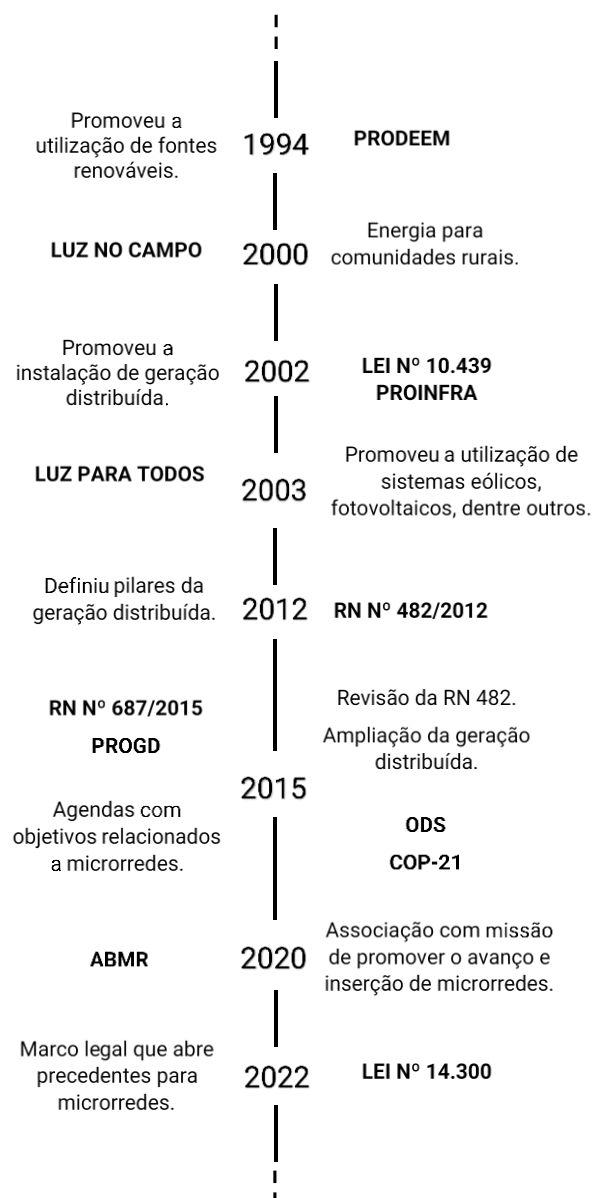


Fig. 3 Linha do tempo de legislações e incentivos às microrredes.

Em 2022, foi publicada a Lei 14.300, instaurando o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. Dentre diversas mudanças e inclusões, definiu pontos interessantes que abrem caminhos para as microrredes. Sendo estas definidas como integração de vários recursos de geração distribuída, armazenamento de energia elétrica e cargas em sistemas de distribuição secundária capaz de operar conectado a uma rede principal de distribuição de energia elétrica. E também de forma isolada, controlando os parâmetros de eletricidade, além de prover condições para ações de recomposição e de autorrestabelecimento (BRASIL, 2022).

Um ponto importante foi a possibilidade de contratação de serviços ancilares de microgeradores e minigeradores distribuídos para beneficiar microrredes, conforme regulamentação que ainda não foi publicada pela ANEEL, que definirá aspectos e critérios mais específicos.

Outro ponto, é que as concessionárias ou permissionárias deverão atender as solicitações de acesso de unidades consumidoras com ou sem sistemas de armazenamento de energia, assim como sistemas híbridos, sendo estas características presentes em microrredes. Apesar de sistemas híbridos já estarem presentes no território brasileiro, estes não possuíam precedentes nas regulamentações.

As legislações impulsionaram a geração distribuída e abriram portas para as microrredes no Brasil. Assim, as novas legislações abrem caminho para o estabelecimento sólido do mercado de microrredes no Brasil.

#### 4.3 Desafios Técnicos

Apesar da evolução das legislações, as microrredes também apresentam desafios técnicos para sua implementação em grande escala no Brasil, devido principalmente às suas diferentes arquiteturas e componentes utilizados em sua construção.

A utilização de RED por si só é responsável por grande parte dos desafios técnicos e operacionais de uma microrrede. A utilização dessas tecnologias, do ponto de vista operacional, pode acarretar em sobrecargas nas linhas de distribuição e outros distúrbios. Os RED possuem custo elevado, sendo as legislações de incentivo a sua utilização necessárias para torná-los atraentes frente aos sistemas de grande porte. Também, segundo Oliveira (2017), é difícil integrar e coordenar um grande número de RED na rede, principalmente quanto aos sistemas de comunicação e proteção, graças ao aumento o nível de fluxo de potência reverso no sistema.

Podem ocorrer ainda afundamentos de tensão durante o acionamento de fontes de GD fora da velocidade síncrona, podendo levar os sistemas de proteção da microrrede a apresentar mau funcionamento (TREVISAN, 2011). As distorções harmônicas são também passíveis de serem causadas pela presença de GD, sendo os inversores a principal causa nesta situação. Este fenômeno pode implicar em efeitos danosos aos sistemas, sendo necessárias tecnologias e inversores modernos para mitigar seus efeitos.

A utilização de fontes de GD de origem renovável também pode impactar no alimentador da microrrede e desequilíbrios entre oferta e demanda, sendo que seus impactos no sistema poderiam ser reduzidos ao combinar sua utilização com combustíveis fósseis e sistemas de armazenamento, que também apresentam seus desafios (BELLIDO 2018). Fontes de combustíveis fósseis ajudam a contornar o problema de oferta e demanda, no entanto, acarretam em aumento de emissão de gases poluentes.

Outro componente que se apresenta como uma barreira técnica é o sistema de armazenamento de energia. Podendo ser composto por diversas tecnologias, sendo a bateria a mais comum, este componente apresenta elevado custo, sendo a bateria de chumbo-ácido a que apresenta melhor custo, no entanto, apresenta performance e durabilidade apenas consideradas boas (ALMEIDA, 2019).

As baterias ainda apresentam uma série de dificuldades, refletidas em sua capacidade, manutenção, alojamento, transporte, dentre outros aspectos. Quanto as de chumbo-ácido, por exemplo, exige-se pouca necessidade de manutenção, no entanto, a mesma não pode ser armazenada quando descarregada, são ambientalmente hostis, exigindo alojamento adequado, e possui restrições de transporte. As baterias ainda necessitam de profissionais qualificados para realizar as manutenções e operação, a fim de estender sua vida e garantir segurança.

Ainda, as tecnologias de armazenamento devem ter seus tipos combinados a fim de aumentar a autonomia e confiabilidade da microrrede, o que impacta ainda mais nos custos, segundo Bellido (2018).

Tangente as microrredes como um conjunto destas tecnologias, os desafios são herdados de seus componentes. Quanto a proteção, estas acabam apresentando dificuldades de coordenação devido ao fluxo bidirecional de potência e dualidade de operação em modo ilhado e conectado.

No modo ilhado, apresenta ainda dificuldades relacionadas aos procedimentos de ilhamento e reconexão (OLIVEIRA, 2017). A transição para o modo ilhado de forma descontrolada pode acarretar em transientes e perda de sincronismo (BELLIDO, 2018). A reconexão pode causar desequilíbrio entre geração e carga, sendo necessário ser realizada no momento apropriado, podendo exigir um maior controle de tensão e frequência no modo ilhado.

A utilização de GD e, conseqüentemente, microrredes pode acabar sendo desvantajosa para as concessionárias de energia, operacionalmente e economicamente. A desconexão abrupta de uma microrrede com potência elevada causa diversos impactos na rede (TREVISAN, 2011), sendo necessário tecnologias que realizem a desconexão gradual das fontes de GD, de forma a reduzir os impactos no sistema elétrico.

As técnicas de controle tanto para garantir a qualidade de energia da microrrede quanto para gerenciar seus recursos a fim de alcançar seus objetivos também são desafios para a implementação das microrredes. As distribuidoras exigem um nível mínimo de qualidade de energia quando conectadas à rede, o que se torna difícil graças às flutuações de tensão

das fontes de geração, quedas de tensão e frequência e desequilíbrio de fases (BELLIDO, 2018).

Ainda segundo o autor, o monitoramento e controle dos diversos componentes de uma microrrede é outra dificuldade, principalmente pela ausência de interoperabilidade entre os equipamentos de fabricantes diferentes, com arquiteturas de comunicação diferentes, sendo mais complicado construir um sistema de comunicação para análises em tempo real.

Segundo Junior e De Freitas (2020), quando as microrredes forem um padrão no sistema elétrico, serão necessárias ainda técnicas de controle com instrumentos para que várias microrredes possam ser conectadas entre si, garantindo que estas operações sejam confiáveis e seguras, evitando que eventuais falhas em uma microrrede afetem outras.

As microrredes, portanto, apresentam como dificuldades técnicas principais o custo, a proteção e o controle adequado, sendo estes outros empecilhos para sua implementação prática. Apesar das dificuldades técnicas e regulamentárias, as microrredes possuem grande aplicabilidade no cenário brasileiro, que se mostra detentor de um grande potencial.

#### 4.4 O Potencial Brasileiro

Apesar da regulamentação ainda não permitir essa igualdade, o Brasil possui um grande potencial para a inserção das microrredes, assim como outros países.

Fontes fotovoltaicas e eólicas são as fontes renováveis que possuem maior aplicação nas microrredes, conforme pode ser observado na vastidão de trabalhos que propõem a utilização dessas fontes em microrredes. O potencial fotovoltaico brasileiro é inegável, sendo que apenas o potencial de irradiação do país em seu pior caso superou o melhor potencial de irradiação da Alemanha em 2015, que na época era a líder em energia fotovoltaica (BÜHLER, 2015). Isto demonstra o potencial dessa tecnologia para aplicação em microrredes.

De acordo com Lage e Processi (2013), além do potencial eólico grande no Brasil, as possibilidades de inovação podem melhorar o aproveitamento energético, como modelagem estatística para previsão dos ventos. Aerogeradores possuem grande aplicabilidade em microrredes, utilizados em conjuntos com outras fontes de energia.

Um estudo realizado por Camello (2021) analisou a viabilidade econômica e o potencial de mercado das microrredes no território brasileiro, utilizando o Modelo de Bass. Este modelo é um dos mais utilizados no estudo da difusão de novos produtos.

O estudo em questão foi capaz de prever a difusão num horizonte de 12 anos, identificando que o Brasil apresenta 30,8 mil unidades consumidoras viáveis para aplicação de microrredes. Destas unidades, 73% são do mercado cativo (consumidores que compram energia da concessionária) e 27% do mercado livre (consumidores que compram direto da geração).

No caso dos consumidores cativos, de acordo com o estudo, as características comuns às unidades consumidoras com maior viabilidade de aquisição são unidades de classe rural e grupo tarifário A3a, localizadas nos estados de Goiás e Mato Grosso.

Oliveira (2017), com base na regulação de sua época, elencou algumas áreas que podem se beneficiar da utilização de microrredes. Os sistemas isolados se encontram como primeira opção. Estes são basicamente microrredes que operam sempre no modo ilhado, sem controle inteligente, e em locais sem acesso a rede principal. Segundo o autor, a geração à diesel era a opção mais evidente para a geração em sistemas isolados, no entanto, a acessibilidade nas fontes renováveis traz novos horizontes.

Assim, a utilização de microrredes combinando as fontes de energia e sistemas de armazenamento, se mostra eficaz para reduzir custos de geração. Além de aumentar a confiabilidade do sistema isolado, garantindo que opere sem interrupções.

O autor também apresenta condomínios comerciais, industriais e residenciais como áreas promissoras para a atuação de microrredes. No caso dos consumidores comerciais e industriais, muitos já possuem geradores locais, que são ativados em horários de ponta para reduzir custos, sendo que a migração para uma microrrede nestes casos se torna atrativa. A microrrede permite um gerenciamento das fontes, reduzindo os custos para estes consumidores.

Bellido (2018) destaca que as microrredes são uma forma de complementar a demanda crescente de forma sustentável, com menor impacto ambiental. Além disso, podem melhorar a qualidade e a confiabilidade da energia, deixando o sistema elétrico mais inteligente, cumprindo com as metas da COP-21 e contribuindo com os objetivos definidos nos ODS, com benefícios em diversas esferas.

## 5. CONCLUSÕES

As microrredes acompanharam evoluções tecnológicas ao longo dos anos, se adaptando e se tornando novas opções energéticas no mercado. Uma vez perdendo espaço para a geração centralizada, diversos fatores indicam que as microrredes agora podem recuprar seu espaço juntamente a geração distribuída.

Surgindo como uma solução de Edison para iluminar as cidades, sendo utilizadas para atender comunidades isoladas através de diversos programas de eletrificação, enquanto microrredes tradicionais. Evoluindo para microrredes inteligentes ao receber técnicas de controle, muitas vezes se utilizando de inteligência artificial. Além de realizar a integração entre diferentes recursos, como fontes renováveis, garantindo flexibilidade, confiabilidade e autonomia.

Sua inserção no mercado é vista de forma positiva, podendo contribuir com esferas sociais, climáticas e econômicas, além de outros ODS. Socialmente, contribui ao levar energia elétrica para áreas sem acesso à energia, garantindo o direito fundamental do acesso à energia elétrica. Economicamente, beneficia a agricultura sustentável, novos empregos e novos mercados, além de obtenção de renda através da venda de

energia excedente. Finalmente, a utilização de fontes renováveis de energia contribui com o clima, sendo uma opção para cumprir as metas climáticas estabelecidas na COP-21.

Apesar das legislações, principalmente no Brasil, ainda não serem suficientemente abrangentes no que se tange às microrredes, os documentos recentes indicam um avanço na regulamentação destas. É notório que as microrredes ainda possuem diversos desafios pela frente, no entanto, esse avanço demonstra novos capítulos com as microrredes cada vez mais saindo dos laboratórios e se tornando uma nova realidade.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, L. F. A., 2019. Gerenciamento de fluxo de potência em microrredes com abordagens heurística e evolucionária para comercialização de energia elétrica, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Aoki, A. R. & Otto, R. B., 2020. O Mercado de Microrredes. ABMR - Associação Brasileira de Microrredes.
- Bellido, M. M. H., 2018. Microrredes elétricas: Uma proposta de implementação no Brasil, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Borges, P. V. d. S., 2016. Análise regulatória e econômica de microrredes elétricas no Brasil, Dissertação de Mestrado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de pós-graduação e pesquisa de engenharia, Rio de Janeiro..
- Brasil, 2022. LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022. [Online] Available at: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821> [Acesso em 04 Janeiro 2022].
- Bühler, A. J., Rampinelli, G. A., Gasparin, F. P. & Krezinger, A., 2015. Energia solar fotovoltaica e o setor elétrico brasileiro: situação atual e perspectivas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, Volume 19, pp. 11-21.
- Camello, I., 2021. Análise da difusão de microrredes no Brasil pelo Método do Modelo de Bass, Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis.
- Dunn, S., 2000. *Micropower: the next electrical era*. Washington, DC: Worldwatch Institute.
- Falcão, D. M., 2009. Smart Grids e Microrredes: o futuro já é presente. *Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos*, Volume 8.
- Junior, M. E. T. S., Coelho, E. A. A. & De Freitas, L. C. G., 2019. O que são microrredes? - Conceitos, componentes e controle. XVII CEEL Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica.
- Junior, M. E. T. S. & De Freitas, L. C. G., 2020. Microrredes: Estado da arte, desafios e tendências para geração, distribuição e uso sustentável de energia elétrica. *Brazilian Applied Science Review*, 4(6).
- Lage, E. S. & Processi, L. D., 2013. Panorama do setor de energia eólica, *Revista do BNDES* 39, pp. 183-206.
- La Rovere, E. L., 2016. O Brasil e a COP-21. Centro de Estudo Integrado sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas – COPPE, UFRJ.
- Lasseter, R. H., 2002. Microgrids. 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No. 02CH37309), pp. 305-308.
- Lobenstein, R. & Sulzberger, C., 2008. Eyewitness to dc history. *IEEE Power and Energy Magazine*, 6(3), pp. 84-90.
- Oliveira, G. A., 2017. Microrredes em Mercados de Energia Elétrica, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Pompermayer, M. L. & Furtado, A. T., 1998. A crise energética dos anos setenta e suas repercussões na economia dos países industrializados, UNICAMP.
- Silva, E. R. A. d., 2018. Agenda 2030 - ODS - Metas nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável: proposta de adequação.
- Silva, J. L. d. S. et al., 2018. Análise do Avanço da Geração Distribuída no Brasil. VII Congresso de Energia Solar - CBENS.
- Solano, D. L. S., 2015. Sistema de supervisão e controle de geração solar fotovoltaica para aplicação em microrredes inteligentes, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Teixeira, P. R., 2015. O Brasil pós-milagre econômico: os impactos do choque do petróleo na recessão de 1973 e o II PND, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Trevisan, A. S., 2011. Efeitos da geração distribuída em sistemas de distribuição de baixa tensão, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Wu, X. et al., 2013. Research on Microgrid and its Application in China. *Energy and Power Engineering*, 5(4), p. 171.