

# Análise da Viabilidade da Implementação de Microrredes em Corrente Contínua na Região Sul e Região Amazônica do Brasil

1ª Samantha Almansa Marques  
UFMS - Universidade Federal de Santa Maria  
Cachoeira do Sul, Brasil  
samanthaalmansamarques\_@hotmail.com

2º Nelson Knak Neto  
UFMS - Universidade Federal de Santa Maria  
Cachoeira do Sul, Brasil  
nelson.knak@ufsm.br

**Resumo**—Atualmente, o sistema de distribuição de energia elétrica está enfrentando desafios para manter a qualidade e a confiabilidade do sistema, no que concerne ao crescimento exponencial de geração distribuída (GD) e um cenário com veículos elétricos plug-in (PEV). Além disso, nota-se, atualmente, uma relevante demanda de carga CC residencial e comercial, que em conjunto com GD e microrredes CC, pode maximizar o autoconsumo e promover eficiência energética. A implementação de microrredes CC pode mitigar ou até mesmo solucionar os impactos gerados no sistema elétrico de potência e tem a capacidade de fornecer energia elétrica em locais remotos, de forma mais eficiente que microrredes CA. As microrredes CA podem enfrentar problemas quanto à sincronização com a rede de distribuição, devido à estabilização de frequência e de tensão, além de possuírem potência reativa e perdas por efeito skin e por conversão CC/CA/CC. Desse modo, este trabalho visa analisar a viabilidade econômica e socioambiental da implementação de microrredes CC para a região Sul e região Amazônica do Brasil, estimando o perfil de consumo e a eficiência energética de cada cenário. Através do dimensionamento das microrredes no Software HOMER Pro, são obtidas as análises de investimentos payback, VPL, NPC e ROI. Também é realizada uma estimativa da capacidade de transformação social e impactos ambientais desta tecnologia.

**Palavras-chave**—geração distribuída, microrredes CC, redes inteligentes, eficiência energética, veículos elétricos

## I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e social da população e o desenvolvimento de novas tecnologias promovem um aumento do consumo de energia elétrica. Estima-se que no cenário considerando uma maior efetividade das políticas de combate à crise do novo coronavírus, a carga de energia cresça 4,2% ao ano, no horizonte de 2019 a 2030, no Brasil [1]. Torna-se um desafio suprir tamanha demanda, visto que necessita-se grandes investimentos na geração de energia elétrica, na ampliação de subestações, em eficiência energética, mudanças de infraestrutura nas linhas de transmissão e de distribuição.

A geração distribuída (GD) proporciona diversos benefícios, como maior inserção de fontes de energia renováveis, redução de perdas de energia elétrica, redução da demanda de energia. A GD está em expressivo crescimento no Brasil. Em janeiro de 2021 a potência total instalada alcançou uma evolução de 112,8% nos últimos 12 meses e a potência instalada oriunda

de GD solar, evoluiu 120,1% no mesmo período [3]. No entanto, visto que o sistema elétrico não foi projetado para um fluxo de potência bidirecional, gera alguns impactos. Além da popularização desta tecnologia, pode-se esperar também um crescimento considerável da penetração de veículos elétricos (VEs) e híbridos (VEHs) nos setores de transporte para as próximas décadas no Brasil [14].

Atualmente, o cenário das cargas residenciais difere da época em que as redes de elétricas em corrente alternada (CA) foram definidas como padrão. No setor de transmissão de energia elétrica, as linhas de transmissão em CC mostram-se mais eficientes, robustas, confiáveis e econômicas em longas distâncias, em comparação com linhas de transmissão em CA [4]. Hoje, com as novas tecnologias e o avanço dos equipamentos elétricos e eletrônicos, grande parte da carga residencial poderia ser alimentada por corrente contínua (CC), de maneira mais eficiente e econômica, especialmente em um cenário com VEs, onde as baterias operam em CC, sendo assim, o carregamento é mais rápido e eficiente. Além disso, mais de 90% das unidades de GD geram energia elétrica em CC e com o desenvolvimento em tecnologias de eletrônica de potência, tem crescido o número de cargas que operam em CC e, conseqüentemente, o número de inversores CA/CC, gerando perdas de energia elétrica [3].

As microrredes, que são pequenos sistemas com geração, distribuição e armazenamento de energia elétrica, amenizam muitos dos desafios enfrentados em decorrência da alta penetração de GD, fazendo o controle, processo e operação internamente. Uma microrrede com apenas um ponto de conexão poderia simplificar a complexidade de gerenciamento e controle de várias unidades de GD. Dessa maneira, com a tecnologia das microrredes, a rede de distribuição pode operar com alto número de GD e ainda assim, ajudar a melhorar o controle do pico de demanda através de uma técnica de administração de carga [6]. Ademais, os consumidores também são beneficiados por essa tecnologia, uma vez que ela pode permitir que os usuários se tornem independentes da rede elétrica principal quando necessário, operando com seus próprios geradores, tornando o sistema mais robusto e confiável.

Hoje no Brasil, ainda há quase um milhão de pessoas sem acesso à energia elétrica nos estados da Amazônia Legal [5]. Os principais motivos que impedem o atendimento de energia elétrica dessas comunidades são ambientais e econômico, em virtude de serem localizadas em áreas de difícil acesso, distantes das redes de distribuição de energia elétrica existentes e altos custos de investimentos em instalações de sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica e serviços técnicos.

Apesar de alguns anos de pesquisa sobre microrredes CC, há uma falta de estudo sobre a viabilidade da implementação de microrredes que envolva os impactos econômicos e socioambientais na análise, especialmente em cenários brasileiros. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica e socioambiental da implementação de microrredes em corrente contínua no Brasil.

O estudo de caso 1 compreende uma microrrede on-grid mode em um condomínio, conectada à rede de distribuição convencional na região sul do Brasil. O estudo de caso 2 é composto por uma microrrede off-grid mode, localizada na região da Amazônia Legal, na localidade de Terra do Meio, uma comunidade ribeirinha do estado do Pará. Para a modelagem e análise econômica, foi utilizado o Software HOMER Pro, que apresenta análise de Payback e VPL. As análises de viabilidade socioambientais foram restritas às análises qualitativas.

Para realizar o estudo de viabilidade, este artigo está subdividido da seguinte forma: Na seção II será discutido a respeito de microrredes, apresentando as microrredes CA e CC, suas vantagens, aplicações e características. Enquanto na seção III será realizada uma análise do estudo de caso proposto no artigo, verificando fatores econômicos e socioambientais, e apresentado o perfil de consumo para realizar uma estimativa de carga, com o intuito de realizar a modelagem e avaliação das microrredes. Estes resultados são apresentados e discutidos na seção IV. Por fim, realizando uma breve conclusão a respeito do tema desenvolvido.

## II. MICRORREDES

### A. Filosofia de funcionamento

As microrredes têm se mostrado como uma grande vantagem para a operação do sistema e planejamento, especialmente em casos de desastres ambientais como terremotos, furacões, inundações e fornecimento de energia em locais remotos e isolados, como por exemplo, em áreas rurais e comunidades da Floresta Amazônia que ainda têm carência de energia elétrica [6]. Além disso, as microrredes são capazes de manter o fornecimento de eletricidade durante ou depois de um desastre, podendo retomar o fornecimento mais rápido que a rede convencional [6]. Ademais, estudos mostram que microrredes têm grande potencial quando associadas à GD, de modo a possibilitar a maximização do autoconsumo e eficiência energética, além de elevar os níveis de qualidade de energia a todo o sistema elétrico.

A microrrede pode ser conectada com a rede elétrica convencional (*on-grid*) ou isolada (*off-grid*). Por operarem

de modo autônomo, as microrredes isoladas podem reduzir a necessidade de investimentos de infraestrutura da rede elétrica e, além disso, aumenta a confiabilidade do sistema e a qualidade de energia, comparada com a rede elétrica principal, uma vez que o suprimento de energia elétrica não é interrompido diante de uma falha na rede elétrica convencional [7]. Caso a microrrede não opere no modo isolado, o controle de tensão e frequência é feito pela distribuidora responsável pela rede convencional. Quando a microrrede está conectada à rede principal, geralmente há pouca variação de frequência e tensão, entretanto, no modo autônomo pode ocorrer grandes variações [7].

### B. Topologia do sistema

Uma vez que o ponto de conexão comum das redes permite o ilhamento da microrrede e a utilização de conversores estáticos nos pontos de ligação, as estruturas da rede externa e interna à microrrede não necessitam ser iguais. Dessa forma, há a opção de ter a distribuição da concessionária em CA e a distribuição no interior da microrrede em CC. A Figura 1 mostra duas nanorredes residenciais com topologia concentrada, sistema onde as fontes de geração de energia elétrica são conectadas ao mesmo barramento. É importante destacar a redução do número de estágios de conversão CA/CC com a utilização do barramento CC, relacionada às cargas eletrônicas, aos sistemas de armazenamento e às fontes de geração de energia.

A eliminação dos estágios de conversão CA/CC gera uma economia de energia elétrica, visto que aproximadamente metade do consumo total residencial e comercial de energia elétrica, é referente a cargas de dispositivos eletrônicos, que operam em corrente contínua, como computadores, celulares, notebooks, televisões, lâmpadas LED e etc.

Existem várias propostas no que tange à estruturação e configuração de microrredes CC. No entanto, o ponto em comum mais frequente é o emprego do barramento principal CC com nível de tensão em torno de 300V - 400V, ao qual se conecta à diversos elementos da microrrede. No entanto, considerando a realidade do sistema de distribuição de energia elétrica no Brasil, cujo valor de pico da tensão é 311V, a escolha deste nível de tensão facilita a implementação de sistemas CC, por possibilitarem o emprego de equipamentos e dispositivos eletrônicos convencionais já existentes e uma vantagem econômica.

### C. Vantagens

As microrredes CC são preferíveis às microrredes CA em muitos aspectos, incluindo eficiência, robustez, controle mais fácil pela ausência de frequência e potência reativa, flexibilidade e aumento da confiabilidade [13]. Além disso, microrredes CC permitem fácil integração de sistemas de geração de energia renovável (GD) e melhor eficiência em cargas CC. A confiabilidade da microrrede CC depende do controle do barramento CC, que por sua vez, depende do balanceamento da geração de potência e o consumo de potência. Em sistemas com distribuição CC, as harmônicas interferem muito menos,

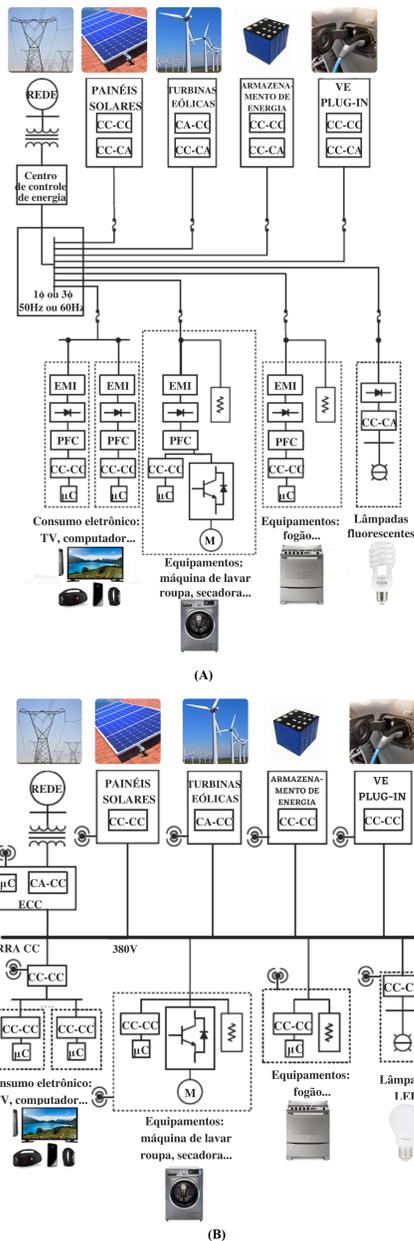


Fig. 1. Esquema de distribuição de nanorrede residencial: (a) CA e (b) CC

o que diminui a complexidade na sincronização de fontes de GD na rede.

### III. METODOLOGIA

A metodologia empregada neste artigo é composta por etapas e análises, como demonstra o fluxograma da Figura 2.

#### A. Perfil de consumo

O caso da Região Sul é definido como uma microrrede *on-grid*, constituída por um condomínio de classe social B1, localizado em Santa Maria, Rio Grande do Sul. O condomínio é composto por 50 residências, com consumo mensal médio de

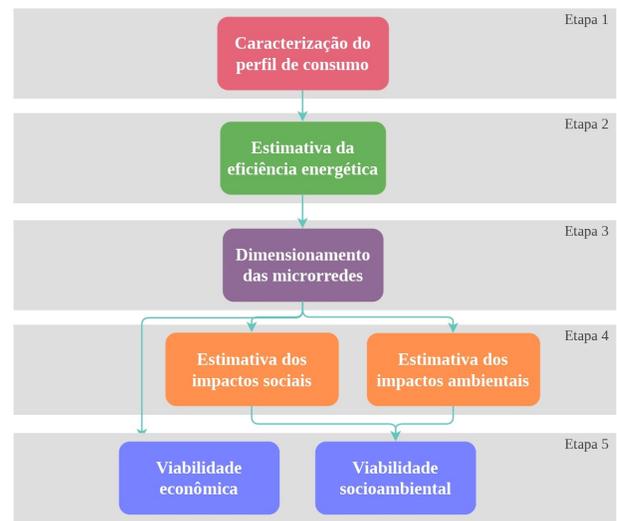


Fig. 2. Etapas da metodologia

307,154 kWh. O perfil de consumo de energia elétrica de cada equipamento das residências é obtido do Estudo de Eficiência Energética e será considerado como padrão para todos os consumidores. Neste caso, considera-se que as residências possuam painéis fotovoltaicos próprio, assim como o atual cenário, onde há alta implementação de GD. A curva típica residencial pode ser representada pelo gráfico da Figura 3.

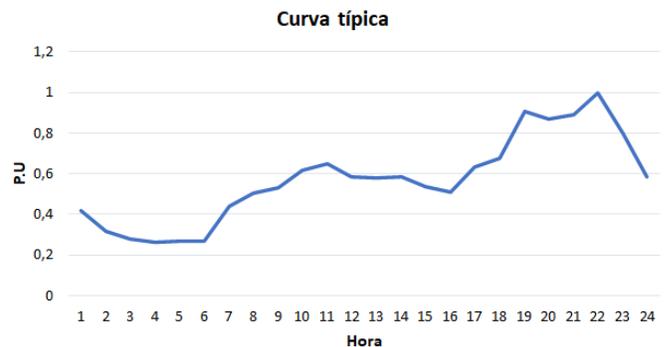


Fig. 3. Curva típica - Microrrede de Santa Maria

Além do consumo residencial, é também considerado um cenário onde cada residência do condomínio possui um VE, ou seja, 50 VEs. Neste trabalho, é utilizado a estratégia de carregamento direto, cuja curva típica é representada pelo gráfico da Figura 4, onde é atribuído que cada usuário carregará as baterias do VE ao final da primeira viagem [8]. Desse modo, por possuir uma curva de carga típica deste carregamento, diferente da curva de carga residencial, é dimensionado uma microrrede separada, para fins de análise. Considera-se um consumo mensal de aproximadamente 153 kWh/mês para um VE com bateria com capacidade de 40kWh, que seria equivalente a quase 4 carregamentos completos, resultando quase 1200km rodados por mês, considerando o modelo JAC iEV40, que possui 300km de autonomia [9]. Esta quilometragem está

adequada com a média de circulação dos motoristas no estado do Rio Grande do Sul [10].

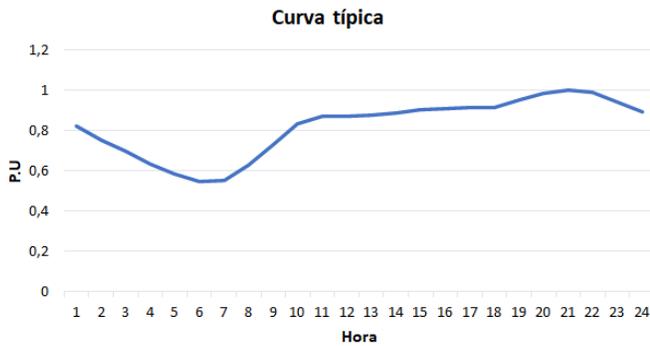


Fig. 4. Curva típica - Microrrede de Terra do Meio

O caso da Região Amazônica é definido como uma microrrede *off-grid*, situada na Amazônia Legal, na região da Terra do Meio, entre os rios Xingu e Iriri, no Pará, o estado com maior número de pessoas sem energia elétrica no Brasil [5]. A comunidade referida é formada por ribeirinhos, que têm como sustento a seringa e produtos florestais não madeireiros, como a castanha-do-pará e o mesocarpo do babaçu [15]. Esta microrrede é composta por 50 residências, com consumo mensal médio de 140 kWh em CA, obtido da Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PPH), assim como o percentual da carga consumida por cada equipamento [16]. A sua curva da carga é caracterizada no gráfico da Figura 5. Para este caso, é projetado a microrrede com geração e armazenamento de energia centralizada, para melhor acesso e controle.

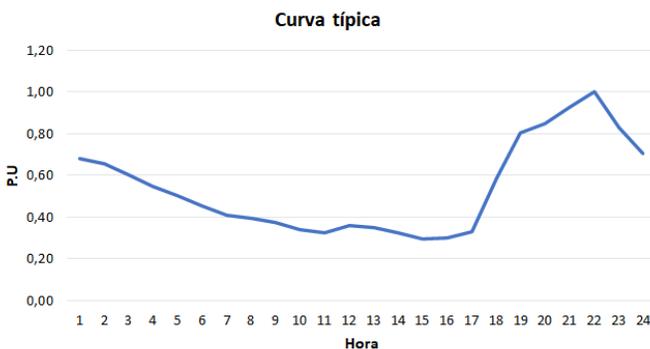


Fig. 5. Curva típica - Carregamento direto

### B. Eficiência energética

Sabe-se que sistemas com distribuição em CC já são mais eficientes apenas por eliminar estágios de conversão desnecessárias de alguns equipamentos elétricos e eletrônicos, sem a necessidade de modificações, para aqueles que são intrinsecamente CC. No entanto, a troca de alguns equipamentos para um modelo com uma composição mais eficiente e compatível com CC, é capaz de proporcionar ganhos de economia

energética surpreendentes. Neste trabalho, é considerado que há essa troca de equipamentos, para aqueles encontrados na literatura e no mercado [11]. A Tabela I exibe o fator de redução de consumo de energia elétrica de cada equipamento, considerando alimentação CC e troca de sua tecnologia.

TABLE I  
ECONOMIA ENERGÉTICA POR EQUIPAMENTO

Equipamento	Fator de redução de consumo de energia elétrica em CC
Iluminação	0,77
Geladeira	0,34
Chuveiro	1,00
Televisão	0,85
Lavadora de roupas	0,57
Freezer	0,34
Ar condicionado	0,55
Notebook	0,77
Smartphone	0,80
Ventilador	0,57
Aparelho de som	0,79
Forno elétrico	0,88
Microondas	0,87
Cafeteira	0,87

Para calcular o consumo de energia elétrica da residência com distribuição CC, é feito a soma do produto entre o fator de redução e o consumo CA (kWh) para cada equipamento. Para calcular a eficiência energética total da residência, é utiliza-se (1).

$$E_{cc}(\%) = \frac{Con_{ca} - Con_{cc}}{Con_{cc}} 100 \quad (1)$$

Em que:

- $E_{cc}(\%)$  - porcentagem da eficiência energética em CC;
- $Con_{ca}$  - consumo em CA;
- $Con_{cc}$  - consumo em CC.

A definição da redução de consumo das residências, assim como o comportamento do consumidor, que é caracterizado pela carga típica, é essencial para o dimensionamento dos sistemas de geração e armazenamento e para estipular a troca de energia da microrrede com o sistema convencional. Será assumido um único perfil padrão como referência para cada caso, ou seja, o consumidor não mudará seu comportamento de utilização da energia quando migrar seus equipamentos de CA para CC. As Tabelas II e III mostram o consumo individual dos equipamentos por mês, para cada caso, considerando carga CA e CC, após a redução de consumo da Tabela I.

### C. Modelagem das microrredes

A modelagem das microrredes é feita com a versão de testes do *Software HOMER Pro microgrid*, um *software* desenvolvido pela HOMER Energy (*Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources*), mundialmente padronizada para otimização de dimensionamento de microrredes, seja *on-grid* ou *off-grid*. A simulação é feita para todas as combinações

TABLE II  
CONSUMO MÉDIO DOS EQUIPAMENTOS EM CA E CC POR MÊS - SANTA MARIA

Equipamento	Consumo CA (kWh)	Consumo CC (kWh)
Iluminação	49,14	37,84
Refrigerador	55,28	18,79
Chuveiro	55,28	55,28
Televisão	39,93	33,94
Lavadora de roupas	6,14	3,50
Freezer	15,35	5,22
Ar condicionado	24,57	3,51
Notebook	29,00	23,02
Smartphone	3,00	2,40
Ventilador	15,00	8,55
Aparelho de som	1,50	1,18
Forno elétrico	7,00	6,16
Microondas	2,00	1,74
Cafeteira	3,00	2,61
<b>Total</b>	<b>307,15</b>	<b>213,79</b>

TABLE III  
CONSUMO MÉDIO DOS EQUIPAMENTOS EM CA E CC POR MÊS - TERRA DO MEIO

Equipamento	Consumo CA (kWh)	Consumo CC (kWh)
Iluminação	23,32	17,96
Refrigerador	57,86	19,67
Televisão	33,54	28,51
Lavadora de roupas	1,29	0,73
Freezer	6,24	2,12
Ar condicionado	3,77	2,07
Notebook	5,00	3,85
Smartphone	0,80	0,64
Ventilador	7,46	4,25
Forno elétrico	0,60	0,52
Microondas	0,10	0,09
<b>Total</b>	<b>140</b>	<b>80,45</b>

possíveis para os equipamentos definidos e otimizado com base no melhor custo presente da rede (NPC) [12]. Com ele, é possível fazer o dimensionamento de painéis fotovoltaicos, baterias, conversores, geradores e etc. Além disso, o próprio *software* faz uma análise da viabilidade econômica e uma estimativa das emissões de gases de efeito estufa.

O sistema é dimensionado para um horizonte de 25 anos, que é o tempo de vida útil dos painéis fotovoltaicos, no entanto, as baterias possuem uma vida útil de 10 anos e os conversores, 15 anos. Desse modo, o custo de reposição destes equipamentos é considerado. A configuração do sistema é determinada tendo como base a configuração definida pela função *optimizer* do HOMER, porém com as devidas alterações para que tornasse o sistema otimizado, considerando que no Brasil é utilizado o sistema de compensação de energia, diferentemente do modelo utilizado no software, que considera venda de energia elétrica. O HOMER faz a otimização com base no menor NPC e menor custo de energia, o que resulta em custos iniciais de investimentos altos e baixa otimização do sistema em si, devido ao alto número de painéis fotovoltaicos para vender a energia elétrica excedente injetada na rede, diferente do cenário brasileiro.

Inicialmente, escolhe-se o município onde a microrrede está

localizada, para ter acesso aos recursos como radiação solar e temperatura. Em seguida, adiciona-se a carga, com base na curva de carga típica de cada região. Imediatamente já é fornecido algumas informações e gráficos, como a média anual do consumo diária (kWh/d), média da demanda (kW), pico da demanda (kW) e gráfico do perfil de carga.

#### D. Análise econômica e socioambiental

A estipulação da viabilidade econômica da implementação das microrredes é realizada analisando a eficiência energética e a estrutura da microrrede CC no *Software* HOMER Pro, comparando com uma microrrede CA sem a redução de consumo. Os métodos de análises de investimento utilizados são o custo total presente (NPC), taxa de retorno de investimento (ROI), valor presente líquido (VPL) e *payback* descontado, calculados no *software*.

A estimativa da viabilidade socioambiental abrange a melhora na qualidade de vida dos consumidores, tanto no âmbito econômico, como ao acesso às tecnologias e ferramentas que possibilitam o desenvolvimento pessoal e profissional, assim como os impactos ambientais resultantes da diminuição do consumo de energia elétrica, do uso de geradores à diesel, painéis fotovoltaicos e baterias, além da redução da emissão de gases de efeito estufa oriunda de combustíveis fósseis de veículos à combustão.

## IV. RESULTADOS

### A. Região Sul

A microrrede localizada em Santa Maria - RS tem um consumo CC de 213,79 kWh/mês por residência, após as trocas de equipamentos elétricos e eletrônicos, quando possível. O que gerou uma eficiência energética de 30,40% em relação ao consumo CA, de 307,15 kWh/mês. Já a carga de carregamento dos VEs, possui um consumo de aproximadamente 153 kWh/mês por veículo.

A microrrede da carga residencial é composta por 288 painéis fotovoltaicos de 340 W, totalizando 97,9 kW, 14 baterias com capacidade de 10 kWh e 10 conversores de 5 kW e possui um custo de energia de 0,218 R\$/kWh. A microrrede dos VEs é constituída por 209 painéis fotovoltaicos 340 W, totalizando 71,06 kW, 6 baterias e 9 conversores de 5 kW e um custo de energia de 0,150 R\$/kWh. Gerando uma grande autonomia e ainda sobre créditos de compensação de energia para eventuais aumento de consumo. É importante ressaltar que foi utilizado como base uma tarifa de energia (TE) de 0,452 R\$/kWh desconsiderando impostos, da distribuidora RGE Sul.

A microrrede referente à carga residencial apresenta um custo inicial de R\$ 602.693,11, onde grande parcela desse valor concerne ao banco de baterias, que foi dimensionado para fornecer uma autonomia de 7,65 horas. Esta microrrede possui um VPL de R\$ 705.598,00 e um Payback descontado de 8,60 anos. Enquanto para obter os mesmos valores técnicos em uma microrrede CA, é necessário um investimento de R\$ 916.292,00, com um VPL equivalente à R\$ 751.909,00 e *Payback* descontado de 15,75 anos. A microrrede dos VEs

apresenta um custo inicial de R\$ 366.216,18, VPL de R\$ 764.881,00 e um *Payback* descontado de 6,92 anos. A tabela IV apresenta as principais informações supracitadas.

TABLE IV  
RESUMO DOS ASPECTOS ECONÔMICOS - SANTA MARIA

	Microrrede CC - residencial	Microrrede CA - residencial	Microrrede CC - VEs
Consumo (kWh/mês)	213,79	307,15	153
Custo de energia (R\$/kWh)	0,218	0,224	0,150
Investimento inicial (R\$)	602.693,11	916.292,24	366.216,18
VPL (R\$)	705.598,00	751.909,00	764.881,00
Payback (anos)	8,60	15,75	6,92

Os impactos socioambientais são diversos, no entanto, é interessante ressaltar a grande economia gerada e que a implementação da microrrede garante uma continuidade do fornecimento de energia elétrica, principalmente quando bem gerenciada durante os períodos *off-grid*. Além disso, a utilização da microrrede para o carregamento de VEs, fornece uma economia de aproximadamente R\$ 321.116,71, comparado à um veículo a gasolina, além de evitar emissões de gases de efeito estufa. Ademais, os VEs também podem atuar como fonte de energia elétrica para as residências, em um cenário *off-grid*.

### B. Região Amazônica

Esta microrrede possui um consumo CC de 80,40 kWh/mês, com uma eficiência energética de 42,54% em relação ao consumo CA, de 140 kWh/mês. O sistema é formado por 112 painéis fotovoltaicos de 340 W, 16 baterias de 10 kWh e um gerador a diesel de 25 kW, para suprir a energia demandada nos períodos da noite e em dias onde há pouca geração fotovoltaica, com um custo de combustível de 5,42 R\$ por litro. Estima-se um custo de energia de 0,959 R\$/kWh, próxima à tarifa do estado do Pará, de 0,639 R\$/kWh. Para diminuir o custo de energia, como a solução apresentada pela função *optimizer* do software, de 0,782 R\$/kWh, seria necessário aumentar consideravelmente a capacidade dos painéis fotovoltaicos e diminuir o banco de baterias, o que implicaria em aumentar o custo inicial em R\$ 72.830,00. Além disso, este sistema geraria energia elétrica excedente, em torno de 58,9%, ou seja, longe de ser um sistema otimizado e demandaria encontrar meios para utilizá-la, visto que é prejudicial para o sistema.

A microrrede CC apresenta um custo inicial de R\$ 457.534,00 e grande parte desse valor refere-se ao banco de baterias, projetado para proporcionar 23,2 horas de energia elétrica. As análises de retorno de investimentos não forneceram valores viáveis, por se tratar de uma microrrede isolada. No entanto, foi feita uma análise comparativa, dimensionando uma microrrede CA onde é obtido valores técnicos aproximados e supondo que a carga fosse alimentada apenas pela rede convencional. A análise mostrou que a microrrede CC possui um custo anualizado de R\$ 46.312,33, enquanto essa mesma

carga alimentada pela rede, possui um custo anualizado de R\$ 32.031,65. Ou seja, com apenas R\$ 14.280,68 a mais é possível fornecer energia elétrica para uma população dentro da Floresta Amazônica. As Tabelas V e VI expõem as principais informações discorridas.

TABLE V  
RESUMO DOS ASPECTOS ECONÔMICOS CC - TERRA DO MEIO

	Microrrede CC	Rede - carga CC
Consumo (kWh/mês)	80,40	80,40
Custo de energia (R\$/kWh)	0,959	0,663
Investimento inicial (R\$)	457.533,84	19.080,84
Custo total anualizado (R\$)	46.312,33	32.031,65

TABLE VI  
RESUMO DOS ASPECTOS ECONÔMICOS CA - TERRA DO MEIO

	Microrrede CA	Rede - carga CA
Consumo (kWh/mês)	140	140
Custo de energia (R\$/kWh)	1,01	0,639
Investimento inicial (R\$)	819.180,58	-
Custo total anualizado (R\$)	84.607,62	53.687,31

Apesar do custo de energia relativamente alto, deve-se levar em consideração que trata-se de uma microrrede dentro da Floresta Amazônica, fornecendo energia para 50 residências, um local que é inviável de fornecer energia elétrica via redes convencionais. Seria equivocado analisar a viabilidade comparando com a tarifa das cidades e aspectos econômicos, mas ainda assim, apresenta um custo total anualizado menor que o consumo CA da rede convencional.

A microrrede residencial de Santa Maria possui um custo inicial de R\$ 602.693,11, ou seja, R\$ 145.159,27 a mais para fornecer energia elétrica para o mesmo número de pessoas. E mesmo assim, a microrrede de Santa Maria mostra-se mais viável economicamente. Desse modo, é importante considerar os aspectos sociais da população mais vulnerável e não apenas a viabilidade econômica.

A energia elétrica derivada da microrrede, permite diversas melhorias na qualidade de vida dessa população, tanto para lazer, tarefas do dia a dia, estudo, saúde, como para melhorar o trabalho desempenhado por ela, proporcionando crescimento econômico e pessoal. Ademais, possivelmente é muito mais viável economicamente e ambientalmente que uma implementação de uma rede convencional até o local, além das dificuldades técnicas e logísticas.

## V. CONCLUSÃO

Microrredes é um conceito que vem crescendo recentemente no mundo, por se mostrar mais eficiente e pela sua capacidade de fornecimento de energia elétrica em locais remotos e diante de desastres ambientais ou qualquer outro problema na rede convencional, além de amenizar problemas no sistema elétrico associados à GD. As microrredes CC surgem como uma opção mais eficiente, visto que grande parte dos equipamentos presentes nas residências, podem ser alimentados diretamente

em CC, evitando perdas por conversão de energia elétrica CA-CC e CC-CA.

Desse modo, a partir da caracterização das microrredes CC, dos dados de consumo da população das regiões Sul e Norte do Brasil e da estipulação da eficiência energética, obtida através da troca de alguns equipamentos elétricos e eletrônicos e eliminação de conversões CA-CC desnecessárias, foi possível dimensionar e estimar a viabilidade econômica das microrredes, através de simulações no *Software* HOMER Pro.

As simulações para a microrrede de Santa Maria foram divididas em duas, para uma análise mais objetiva em relação a carga residencial e em caso de uso de VEs. Ambas microrredes mostraram-se viáveis economicamente e com um custo inicial relativamente baixo, considerando um condomínio com 50 residências. A microrrede de Terra do Meio não se mostrou totalmente viável economicamente, por ser uma microrrede isolada não conectada à rede, fazendo com que toda a demanda precise ser atendida pelos painéis fotovoltaicos e, conseqüentemente, um banco de baterias que ajude a suprir, além do gerador à diesel operando em média, 1h por dia.

Desse modo, a análise da viabilidade socioambiental torna-se um fator relevante a ser considerado para definir a viabilidade de implementação da microrrede CC. As estipulações dos impactos socioambientais mostraram que há diversas vantagens e melhorias para os consumidores de ambas regiões, principalmente para a população ribeirinha de Terra do Meio, que não possuem acesso à energia elétrica.

Por fim, analisando os impactos econômicos e socioambientais, ambos cenários mostraram-se viáveis para a implementação de microrrede CC. É necessário fazer uma análise crítica sobre a relevância da microrrede para a população ribeirinha, e que mesmo não apresentando análises de investimento positivos, possui um custo de investimento menor que a de Santa Maria, para alimentar o mesmo número de residências.

Devido ao tema ser relativamente recente, há vários aspectos e cenários que precisam ser analisados, principalmente no Brasil. Além disso, pode ser feita uma análise considerando outros cenários, em outras regiões do país, tarifas diferentes e uma carga industrial. Assim como dimensionar a microrrede com mais de uma fonte de geração de energia elétrica renovável, como a energia eólica e hidráulica. O sistema de armazenamento também pode ser diferente, com outros tipos de baterias ou eletrolisador, por exemplo.

#### REFERÊNCIAS

- [1] EPE, "Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2030," Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-564/Minuta\\_do\\_Plano\\_Decenal\\_de\\_Expansao\\_de\\_Energia\\_2030\\_PDE\\_2030.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-564/Minuta_do_Plano_Decenal_de_Expansao_de_Energia_2030_PDE_2030.pdf). Acesso em: 23 set. 2021.
- [2] ONS, "Evolução da capacidade instalada no SIN - DEZ2021/DEZ2025", Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 24 ago. 2021.
- [3] ANEEL, "Geração distribuída". Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTl1MjltN2E5MzBkN2ZlMzVklIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSI0MjR9>. Acesso em: 15 mai. 2021.
- [4] ALASSI, A. et al. "Hvdc transmission: Technology review, market trends and future outlook", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 112, pp. 530-554, 2019.
- [5] IEMA, "Amazônia Legal: quem está sem energia elétrica". Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/02/infografico-iema-amazonia.png>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- [6] IEC, "Microgrids for disaster preparedness e recovery". Disponível em: <https://www.iec.ch/basecamp/microgrids-disaster-preparedness-recovery>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- [7] OLIVEIRA, H.A., "Rede híbrida de distribuição de energia em CC e CA como uma solução alternativa para microrredes isoladas". São Luís, MA: Universidade Federal do Maranhão, 2017.
- [8] NETO, Nelson Knak., "Metodologias para modelagem de cargas de consumidores de baixa tensão considerando a integração de resposta da demanda, geração distribuída e veículos elétricos". Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2017.
- [9] JAC Motors, "JAC iEV40". Disponível em: <https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/iev40>. Acesso em: 06 dez. 2021.
- [10] KBB, "Brasileiros rodam em média 12,9 mil Km no primeiro ano de uso de um veículo". Disponível em: <https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quanto-brasileiro-roda-carro-ano/?ID=1830>. Acesso em: 06 dez. 2021.
- [11] G. Karina, V. Vagelis. e S. Hongxia, "Catalog of DC Appliances and Power Systems". Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2011.
- [12] HOMER Software, "HOMER Pro". Disponível em: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>. Acesso em: 19 fev. 2022.
- [13] B. Aluisio et. al, "Planning and reliability of DC microgrid configurations for Electric Vehicle Supply Infrastructure", *Electrical Power e Energy Systems*, vol. 131, 2021.
- [14] EPE, "Eletromobilidade e Biocombustíveis," Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Eletromobilidade%20e%20Biocombustiveis.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2021.
- [15] Instituto Socioambiental, "Economia do conhecimento na Terra do Meio," Disponível em: <https://medium.com/hist%C3%B3rias-socioambientais/economia-do-conhecimento-na-terra-do-meio-4ce998d8f61a>. Acesso em: 13 fev. 2022.
- [16] Eletrobras, "Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019," Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>. Acesso em: 21 out. 2021.