

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
ESPECIALIZAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

JONAS KENZO HAMASAKI

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A APLICAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO ISOLADO EM REPETIDORAS DE SINAL SEM FIO,
PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE RECONFIGURAÇÃO
AUTOMÁTICA NA REDE DE MÉDIA TENSÃO ELÉTRICA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA - PR

2018

JONAS KENZO HAMASAKI

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A APLICAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO ISOLADO EM REPETIDORAS DE SINAL SEM FIO,
PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE RECONFIGURAÇÃO
AUTOMÁTICA NA REDE DE MÉDIA TENSÃO ELÉTRICA**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

**CURITIBA – PR
2018**

TERMO DE APROVAÇÃO

JONAS KENZO HAMASAKI

ESTUDO DA VIABILIDADE PARA APLICAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO EM REPETIDORAS DE SINAL SEM FIO, PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE RECONFIGURAÇÃO AUTOMÁTICA NA REDE DE MÉDIA TENSÃO ELÉTRICA

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 06 de novembro de 2018, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Me. Romildo Alves dos Prazeres

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues
Orientador - UTFPR

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
UTFPR

Prof. Esp. Carlos Henrique Karam Salata
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

RESUMO

HAMASAKI, Jonas Kenzo. **Estudo de viabilidade para a aplicação de um sistema fotovoltaico isolado em repetidoras de sinal sem fio, para aplicação em sistemas de reconfiguração automática na rede de média tensão elétrica.** 2018. 67 pág. Monografia (Especialização em Energias Renováveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Considerando um regime normal de operação, a reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica permite reduzir perdas, melhorar os indicadores de qualidade e balancear cargas. Com o crescimento do uso de equipamentos telecomandados nos Sistemas de Potência, torna-se viável o desenvolvimento de sistemas que possibilitam que a reconfiguração da rede seja feita de forma automática. As Redes Elétricas Inteligentes nasceram do casamento dos sistemas de potência com os recursos comuns ao campo de Tecnologia da Informação (TI). Em sistemas de reconfiguração, um dos pilares para sua implementação é a necessidade de uma rede de comunicação confiável, estável e com uma velocidade de troca de dados compatível ao tipo de sistema de automação a ser desenvolvido. Este trabalho apresenta um projeto de uma repetidora de sinal, alimentada por um sistema fotovoltaico isolado, para redes de comunicação de um sistema de reconfiguração automática em uma rede de distribuição aérea. O projeto da repetidora de sinal alimentada por energia fotovoltaica, visa contornar alguns problemas encontrados em infraestruturas de comunicação exclusivas de sistemas de reconfiguração automática de redes de distribuição, como: dificuldade no acesso ao ponto de alimentação das repetidoras de sinal e desempenho da rede de comunicação. Dentre as soluções analisadas, o sistema fotovoltaico isolado apresentou melhor viabilidade econômica para a adversidade de alimentação em uma distância superior a 617 metros, e técnica, atendendo de melhor forma os requisitos do projeto.

Palavras Chaves: Redes Inteligentes. Reconfiguração Automática. Sistema Fotovoltaico Isolado. Repetidora de Sinal. Geração Solar.

ABSTRACT

HAMASAKI, Jonas Kenzo. **Reliability study for an Isolate Photovoltaic System apply in wireless sign repeater devices, to apply in a medium voltage self-healing system.** 67 pg. Monograph (Specialization in Renewable Energies) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Considering a normal operation regime, a self-healing system in a distribution power system allows reducing losses, improving quality indicators and balancing loads. With the increasement of the communication /devices in the power systems, the development of system that use self-healing technologies become reliable. The smart grids were born with the combination of some power system features and the field of the information technology (IT). In self-healing system, one of the pillars of its implementation is the need for a reliable and stable communication network with an appropriate speed of data exchange according with the type of the automation system. This research presents a project of a signal repeater, powered by an off-grid photovoltaic system, for communication networks of an aerial distribution grid. The project of the photovoltaic-powered signal repeater aims to overcome some of the problems found in private communication infrastructures to self-healing systems of distribution grid, such as: difficulty in access to the power grid of the signal repeaters and the communication network performance. Among the solutions analyzed, the off-grid photovoltaic system presented better economic feasibility for feeding adversity over a distance higher than 617 meters, and technique, meeting the requirements of the project.

Keywords: Smart Grid. Self-healing. Off-grid Photovoltaic System. Sign Repeater. Photovoltaic Generation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metodologia da pesquisa (quadro resumo).	14
Tabela 2 – Condições de teste e operação dos módulos fotovoltaicos.....	27
Tabela 3 – Lista de componentes do painel da repetidora + TP.	47
Tabela 4 – Informações de localidade.....	50
Tabela 5 – Quadro de previsão de carga.	51
Tabela 6 – Dados de radiação do ponto de referência do novo R2.	52
Tabela 7 – Irradiação (Wh/m ²) incidente em diferentes inclinações.	52
Tabela 8 – Capacidade do banco de baterias.	53
Tabela 9 – Lista de materiais utilizando o SFVI.	55
Tabela 10 – Tabela de comparação dos custos para as duas soluções.	58
Tabela 11 – Tabela de comparação dos custos para as duas soluções, considerando a variação por km.....	59
Tabela 12 – Tabela do custo por autonomia do SFVI.	60
Tabela 13 – Tabela de comparação do grau de complexidade técnica.	61
Tabela 14 – Tabela do custo por autonomia do SFVI.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Protocolo de pesquisa.....	15
Figura 2 – Amplitudes de valores do ângulo de declinação.	20
Figura 3 – Relações geométricas sol-Terra-painel solar.	21
Figura 4 – Evolução da eficiência das células fotovoltaicas.	24
Figura 5 – Símbolo de módulo fotovoltaico.	25
Figura 6 – Potência elétrica em função da tensão elétrica de uma célula fotovoltaica, sob as condições-padrão de ensaio.	26
Figura 7 – Representação gráfica do fator de forma.	27
Figura 8 – Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva I-V.	28
Figura 9 – Variação da tensão e corrente de um módulo em função da temperatura.	29
Figura 10 – Curvas I-V para um módulo de 220 Wp, 2 e 4 módulos idênticos associados em série.	30
Figura 11 – Curvas I-V para conexão em paralelo dos mesmos módulos fotovoltaicos da figura 10.	30
Figura 12 – Diagrama unifilar de um sistema fotovoltaico domiciliar isolado em CC.	32
Figura 13 – Esquemático básico do SFVCR.	35
Figura 14 – Sistema em sua condição normal, ausência de tensão no SRC 3.	38
Figura 15 – IR5 sente a ausência de tensão e inicia o processo de reconfiguração.	38
Figura 16 – SRC 4 é escolhido como fonte preferencial por possuir capacidade suficiente. IR5 abre e IR8 fecha, restaurando os times 1,3,4,5 e 6.	39
Figura 17 – Forma de uma onda senoidal.	40
Figura 18 – Diagrama unifilar do circuito entre XXE1 e BJ.	44
Figura 19 – Diagrama unifilar do circuito entre XXE1 e BJ, referenciando a formação do TIME 1.	45
Figura 20 – Diagrama dos níveis de sinal de rádio, TIME 1, 2 e 3.	46
Figura 21 – Diagrama dos níveis de sinal de rádio, TIME 4, 5 e 6.	46
Figura 22 – Diagrama de comunicação TIME 1.	48
Figura 23 – Diagrama de comunicação TIME 2.	48
Figura 24 – Diagrama de comunicação considerando o novo R2.	49
Figura 25 – Análise de distâncias entre R2 e pontos de referência.	51
Figura 26 – Diagrama de conexões do SFVI.	54

Figura 27 – Foto do poste de repetidora instalado em campo e diagrama para instalação dos novos componentes do SFVI.....	56
Figura 28 –Diagrama para instalação dos novos componentes do SFVI, considerando o painel instalado a nível do solo.	56
Figura 29 – Distância entre ponto de alimentação e o novo ponto para R2.....	57
Figura 30 – Variação do custo x km para as duas soluções.	59
Figura 31 – Variação do custo x Distância (metros) para as duas soluções.	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA	12
1.1.1	Delimitação do Tema.....	12
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	12
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivo Geral.....	13
1.3.2	Objetivos Específicos	13
1.4	JUSTIFICATIVA	13
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	14
1.6	INFRAESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	ENERGIA SOLAR	18
2.2	RADIAÇÃO SOLAR.....	19
2.3	FONTES DE DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR	22
2.3.1	Atlas Brasileiro de Energia	22
2.3.2	Software Radiasol	23
2.4	CÉLULA FOTOVOLTAICAS	23
2.5	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	24
2.5.1	Parâmetros Elétricos	25
2.5.2	Condições de Teste e Operação.....	27
2.5.3	Associação de Módulos Fotovoltaicos.....	29
2.6	APLICAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	31
2.6.1	Sistemas Fotovoltaicos Isolados (<i>Off-grid</i>)	31
2.6.1.1	Dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado	33
2.6.2	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (<i>On-grid</i>).....	34
2.7	REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES	35
2.7.1	Conceitos de RI	35
2.7.2	Sistema de Reconfiguração Automática da Rede Elétrica	36
2.7.3	Sistema de Reconfiguração Automática IntelliTeam® SG	37
2.7.3.1	Exemplo Sistema IntelliTeam® SG	38
2.8	INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO.....	39
2.8.1	Propriedades da Rádio Frequência.....	39

2.8.2	Redes <i>Mesh</i>	41
3.1	ESCOPO DO PROJETO	43
3.2	SISTEMA ATUAL	44
3.3	PROBLEMÁTICA	47
3.4	PROJETO SFVI PARA ALIMENTAÇÃO DE R2.....	50
3.4.1	Informações de Localidade	50
3.4.2	Previsão de Carga.....	50
3.4.3	Níveis de Radiação	51
3.4.4	Dimensionamento dos componentes e Projeto	52
3.5	CONSTRUÇÃO DE REDE AÉREA PARA R2.....	57
4.1	ANÁLISE ECONÔMICA	58
4.2	ANÁLISE TÉCNICA.....	60
4.3	RESULTADOS DAS ANÁLISES	62
5.1	CONCLUSÃO.....	64
5.2	PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Potência estão atravessando uma mudança notória em sua forma de planejamento, operação e controle. A definição de Redes Elétricas Inteligentes (do termo em inglês, *Smart Grids*) vem sendo utilizada para definir diversas técnicas, metodologias e procedimentos que buscam suprir às novas demandas e desafios do setor elétrico (PFITSCHER,2013).

Os conceitos relacionados às Redes Inteligentes (RI) como monitorar e controlar remotamente componentes da rede elétrica já são abordados há décadas, assim como as práticas de incentivar os consumidores a utilizar fontes renováveis de energia para complementar e diversificar a geração, como por exemplo a microgeração e minigeração de energia solar. Os avanços tecnológicos nas áreas de automação e comunicação, especialmente no desenvolvimento de protocolos para comunicação sem fio e infraestruturas de rede, possibilitaram essa grande revolução no setor de energia elétrica. (PFITSCHER,2013).

O contexto nacional de RI é apresentado em um documento técnico elaborado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), organização supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). De acordo com o documento técnico elaborado as RI podem ser compreendidas como a rede elétrica que utiliza tecnologia digital avançada para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade em tempo real com fluxo de energia e de informações bidirecionais entre o sistema de fornecimento de energia e o cliente final (CGEE, 2012).

Dentro do campo de RI está localizado os sistemas de reconfiguração automática. Para a projetar um sistema de reconfiguração automática da rede elétrica, deve-se seguir no mínimo os seguintes passos: instalação da infraestrutura de dispositivos inteligentes, instalação da infraestrutura de comunicação, integração e interoperabilidade, disponibilização de ferramentas analíticas e otimização operativa (FALCÃO, 2010).

Com base nos desafios tecnológicos necessários para a implantação de um sistema de reconfiguração automática da rede elétrica, esta monografia tem como finalidade apresentar uma solução para um problema encontrado na infraestrutura de comunicação de um sistema de reconfiguração automática projetado na região oeste de Santa Catarina.

1.1 TEMA

Comprovar a viabilidade da utilização de um sistema fotovoltaico isolado em uma repetidora de sinal de um sistema de reconfiguração automática da rede elétrica.

1.1.1 Delimitação do Tema

Para a realização desta monografia, será utilizado como base algumas informações do projeto realizado no Oeste de SC, na região de Chapecó. O sistema de reconfiguração automática utilizado será o IntelliTeam® SG. A infraestrutura de comunicação adotada é de rádio frequência (RF), utilizando rádios UHF na faixa de 900MHz, com tecnologia *Mesh*.

A viabilidade do tema proposto será avaliada de forma quantitativa e técnica, comparando dois cenários para as repetidoras: com alimentação conectada à rede de distribuição e utilizando um sistema de geração fotovoltaica isolada à rede.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Os sistemas de reconfiguração automática de redes de distribuição aérea que fazem uso de uma infraestrutura de comunicação de rádio para troca de dados entre os dispositivos da rede, em alguns casos, necessitam de repetidoras de sinal com a finalidade de contornar as adversidades da comunicação sem fio.

Um dos problemas encontrado em redes de comunicação sem fio para os sistemas de reconfiguração automática de redes de distribuição aérea é o elevado custo para disponibilizar energia elétrica para os pontos de repetição de sinal, que em alguns casos encontram-se distantes, em outros se faz necessário utilizar um transformador de potência para adequar a tensão nominal de operação do conjunto de equipamentos.

Com base nesse problema, é viável economicamente a utilização de sistemas fotovoltaicos isolados para alimentar repetidoras de sinal em sistemas de reconfiguração automática de redes de distribuição aérea?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Determinar quantitativamente e qualitativamente a aplicação de uma fonte de geração fotovoltaica isolada (SFVI), em um ponto de repetição de sinal da infraestrutura de comunicação, de um sistema de reconfiguração automática da rede de distribuição aérea previamente operante na região oeste de Santa Catarina.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, faz-se necessário executar os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar informações do projeto operante como: infraestrutura de dispositivos inteligentes, instalação da infraestrutura de comunicação, integração e operação;
- Descrever os problemas encontrados na infraestrutura de comunicação;
- Realizar o levantamento de custos para o sistema com e sem a aplicação de sistemas fotovoltaicos isolados;
- Apresentar os resultados quantitativos e qualitativos.

1.4 JUSTIFICATIVA

As redes elétricas inteligentes surgiram como uma solução para os desafios do setor elétrico, como a maior preocupação com o desenvolvimento sustentável e o crescimento da demanda de energia elétrica e da necessidade na qualidade de serviço e do produto. Porém, um dos gargalos encontrados na implantação de sistemas de reconfiguração automática das redes elétricas, utilizando sistemas de comunicação de rádio, é seu elevado custo de implementação.

A pesquisa desenvolvida nesse trabalho é motivada pela busca de uma solução sustentável e viável financeiramente para auxiliar na expansão das RI.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Gil (2008) a preparação da pesquisa consiste no planejamento das etapas da pesquisa e apresentação do cenário envolvido no estudo de caso. Dessa forma uma pesquisa científica pode ser dividida de acordo com quatro parâmetros: quanto à natureza, quanto aos objetivos, quanto aos procedimentos e em relação à forma de abordagem. A Tabela 1 – Metodologia da pesquisa (quadro resumo) apresenta a classificação da metodologia aplicada no presente trabalho.

Tabela 1 - Metodologia da pesquisa (quadro resumo).

QUESITO	CLASSIFICAÇÃO							
Natureza	Aplicada	Básica						
Objetivos	Exploratória	Descritiva	Explicativa					
Procedimentos	Pesquisa Bibliográfica	Pesquisa Documental	Pesquisa Experimental	Observação direta	Levantamento de dados	Pesquisa de Campo	Estudo de caso	Pesquisa-ação
Abordagem	Pesquisa Quantitativa	Pesquisa Qualitativa						

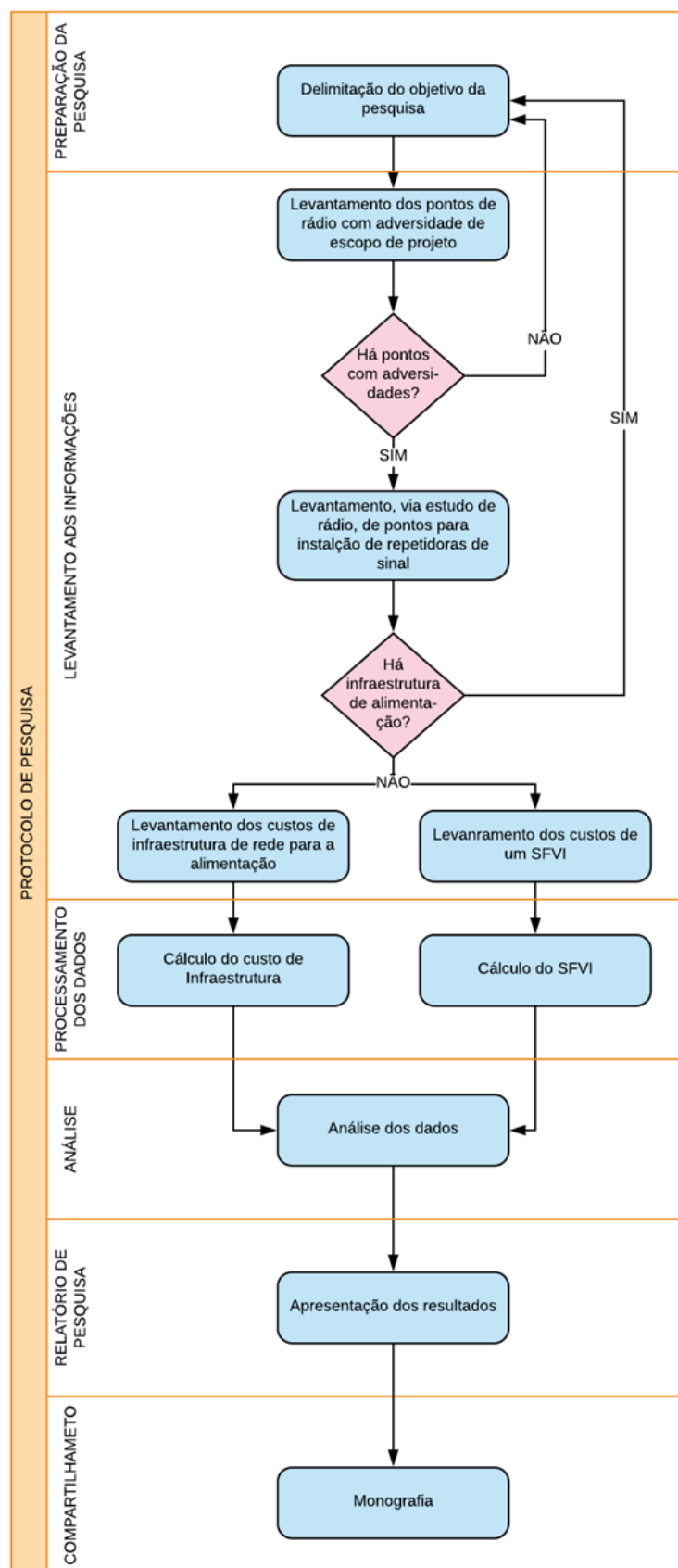
Fonte: Autoria própria.

Do ponto de vista da natureza, esta monografia pode ser classificada como pesquisa aplicada, a qual visa gerar conhecimentos para aplicação prática voltada para a solução de problemas específicos. Quanto aos objetivos, esta monografia pode ser considerada com uma abordagem exploratória.

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, esta monografia classifica-se como quantitativa e qualitativa, pois levanta vantagens e desvantagens técnicas da utilização de um sistema fotovoltaico isolado e quantitativo, comparando os valores das duas formas de implantação da alimentação da repetidora de sinal.

De acordo com Gil (2008), a elaboração do protocolo de pesquisa direciona a forma para estruturar e aplicar os dados obtidos para desenvolvimento da pesquisa, garantindo a confiabilidade do estudo de caso. A pesquisa fornece ao investigador um caminho para o conhecimento, que durante a passagem da formulação do problema até a apresentação dos resultados, passa pelas seguintes fases: preparação da pesquisa, levantamento das informações, processamento de dados, análise dos dados e elaboração do relatório de pesquisa. A Figura 1 apresenta detalhadamente o protocolo de pesquisa do trabalho.

Figura 1 - Protocolo de pesquisa.



Fonte: autoria própria.

Mediante ao protocolo de pesquisa (Figura 1), pode-se detalhar as suas etapas:

- I. Preparação da Pesquisa: nesta etapa é definido o problema da pesquisa por meio de revisão da literatura, a qual é composta por livros, artigos técnicos, catálogos de produtos, dados de fornecedores, teses e dissertações relacionadas ao tema. Também se identifica as particularidades de sistemas de reconfiguração automática, sistemas fotovoltaicos isolados redes de comunicação de RF.
- II. Levantamento de informações: esta etapa compreende as seguintes ações:
 - a) Levantamento dos pontos de repetição de sinal com adversidades: será analisado conforme o projeto de *Radio Survey* os pontos de repetição que não atendem o escopo de projeto pré-definido;
 - b) Determinação via estudo de rádio, dos melhores pontos para as repetidoras com adversidade: com base nas repetidoras com adversidades, serão pesquisadas possíveis localizações que possa contornar as adversidades que possam ser encontradas;
 - c) Levantamento do custo para as soluções apresentadas.
- III. Processamento de dados: realização dos cálculos dos projetos com base nos dados levantados.
- IV. Análise: organização dos dados levantados e criação de gráficos comparativos quantitativos e técnicos para análise.
- V. Relatório de pesquisa: apresentação dos dados coletados, informando em quais condições a aplicação de um sistema fotovoltaico isolado pode ser viável.
- VI. Compartilhamento: descrição da pesquisa em formato de monografia.

1.6 INFRAESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi organizado com a seguinte estrutura:

No Capítulo 1 é descrito a introdução do trabalho, apresentado o tema a ser abordado, os objetivos e suas delimitações, justificativa e a apresentação da metodologia.

No Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica sobre a teoria de sistemas fotovoltaicos, redes elétricas inteligentes, infraestrutura de comunicação e outros itens relevantes a pesquisa.

No Capítulo 3 é apresentado o sistema atual instalado no oeste de Santa Catarina, a problemática de comunicação e as possíveis soluções.

No Capítulo 4 é realizado a análise de custos e de viabilidade técnica com base nos projetos apresentados como solução no capítulo 3. E apresenta-se os resultados obtidos.

No Capítulo 5, por fim, é descrito a conclusão, dificuldades encontradas, propostas para trabalhos futuros e considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é feita uma revisão bibliográfica com base nos principais temas abordados para o desenvolvimento deste trabalho. Dentre eles podemos citar a teoria de sistemas fotovoltaicos, redes elétricas inteligentes, infraestrutura de redes e sistema de reconfiguração automática de rede IntelliTeam® SG e outras informações adicionais relevantes a pesquisa.

2.1 ENERGIA SOLAR

O desenvolvimento da espécie humana sempre esteve ligado à transformação do meio ambiente e obtenção de energia. Os combustíveis fósseis ficaram marcados como um dos primeiros recursos que permitiu a produção de energia em larga escala. Para continuar a progredir foi necessário o domínio de outros recursos, por isso nas últimas décadas temos observado o apelo de várias vozes que indicam uma substituição gradual dos combustíveis fósseis para as energias renováveis, isso devido ao grande impacto ambiental causado pelas fontes fósseis e a insustentabilidade do modo como obtemos a energia que nos move (SOUZA, 2016).

As formas de energia que conhecemos derivam da energia da radiação solar. É a energia solar que transforma o estado físico da água e que permite com que ela possa ser represada nas usinas hidrelétricas. Os ventos advêm do aquecimento das massas de ar, que são aproveitadas nos geradores eólicos dos parques eólicos. É a energia solar absorvida no processo de fotossíntese, que dá a vida às plantas utilizadas como fonte de energia de biomassa. Inclusive o petróleo, que se origina de restos de vegetação e animais pré-históricos, também é derivado do Sol, pois este deu energia primordial para o surgimento da vida na Terra em eras passadas (SOUZA, 2016).

De acordo com o CRESESB (2014) a energia solar direta é classificada em cinco grandes blocos:

- Solar passiva, onde se insere a arquitetura bioclimática;
- Solar ativa, onde se inserem o aquecimento e a refrigeração solares;
- Solar fotovoltaica, para a produção de energia elétrica com e sem concentradores, sendo esta última o objeto desta monografia;

- Geração de energia elétrica a partir de concentradores solares térmicos para altas temperaturas e;
- Processo inspirado na fotossíntese através do qual, em um reator alimentado por dióxido de carbono, água e metal ou óxido metálico, exposto à radiação solar, produz-se hidrogênio, oxigênio e monóxido de carbono. Neste caso, o hidrogênio seria produzido através de combustível solar, não mais produzido através do gás natural.

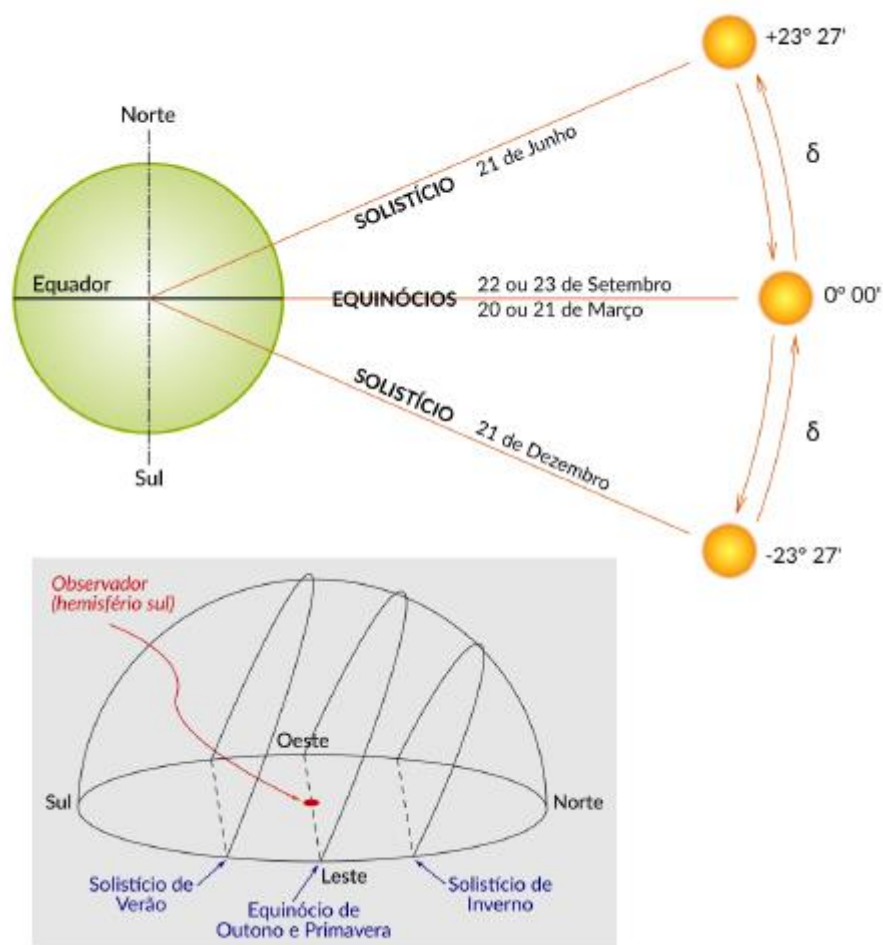
Dos cinco grandes blocos, a solar fotovoltaica será explicada com maiores detalhes e integrara uma das soluções apresentada neste trabalho.

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

A energia solar é produzida pelas reações nucleares que acontecem no interior do sol. A energia produzida viaja do interior do sol até a sua superfície, denominada fotosfera, e depois se irradia em todas as direções chegando até a Terra. As partículas que viajam pelo espaço são denominadas de fótons. Os fótons se deslocam a uma velocidade de 300.000 km/s e demoram cerca de 8 minutos para chegar a Terra, que está a aproximadamente 150 milhões de quilômetros de distância do sol (SOUZA,2016).

A Terra se move em órbita elíptica em torno do sol e seu eixo de rotação forma um ângulo de $23,45^\circ$ com a normal ao plano da elipse de sua órbita. Esta inclinação de $23,45^\circ$ é a causa da duração do dia e da noite nas estações do ano, e pela variação da elevação do Sol no horizonte à mesma hora, ao longo do ano. A posição angular do sol ao meio dia, em relação à linha do equador é chamada de Declinação Solar (δ), que varia de acordo com os dias do ano entre $-23,27^\circ \leq \delta \leq 23,27^\circ$, sendo um valor positivo ao Norte e negativo ao Sul, como mostra a figura 2 (PEREIRA, 2017).

Figura 2 – Amplitudes de valores do ângulo de declinação.



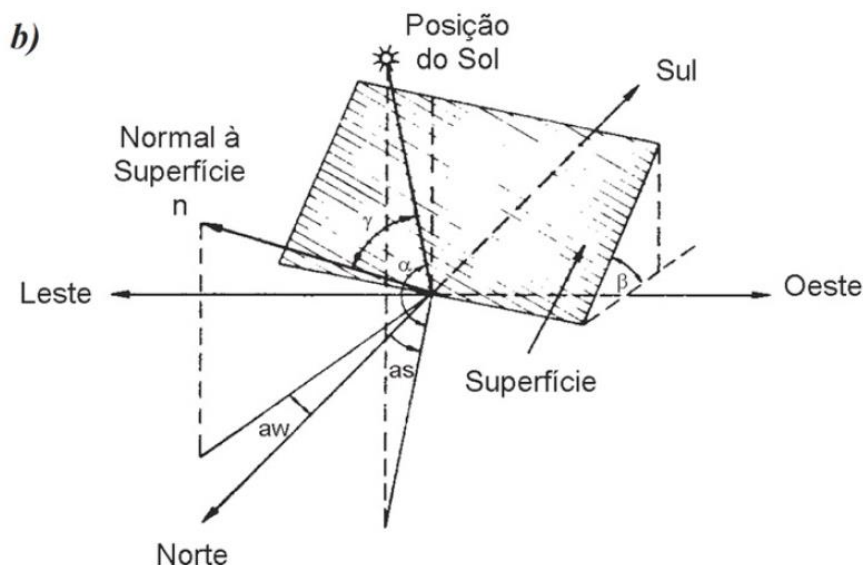
FONTE: PEREIRA (2017).

Para sistemas de aproveitamento de energia solar, se faz importante a análise das relações geométricas entre a superfície terrestre e os raios solares. De acordo com Souza (2016), seguem algumas nomenclaturas e definições referentes a figura 3 abaixo:

- Ângulo de Incidência (γ): é formado entre os raios solares e a normal à superfície de captação.
- Ângulo Azimutal De Superfície (a_w): Entre a projeção da normal à superfície do painel solar e a direção norte-sul. O ângulo Azimutal de superfície estará entre $-180^\circ \leq a_w \leq 180^\circ$.
- Ângulo Azimutal do Sol (a_s): é o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul.

- Altura Solar (α): ângulo entre os raios solares e sua projeção sobre um plano horizontal.
- Inclinação (β): ângulo entre o painel solar e o plano horizontal.
- Ângulo Horário do Sol ou Hora Angular (ω): é o deslocamento angular do sol, no sentido Leste-Oeste, a partir do meridiano local.

Figura 3 – Relações geométricas sol-Terra-painel solar.



FONTE: SOUZA (2016).

De acordo com CRESESB (2014), a densidade média anual do fluxo energético proveniente da radiação solar (irradiância solar) que chega à Terra corresponde ao valor médio de 1.367 W/m^2 . A quantidade de radiação que chega a superfície terrestre depende da localização geográfica, das condições atmosféricas e do período do ano. A atmosfera terrestre age como um bloqueador de energia, quanto mais espessa for a camada atmosférica a ser atravessada, menor será a irradiância solar ao nível do solo. Essa espessura é medida através de um coeficiente chamado Massa de Ar (AM). A AM influencia através dos efeitos de absorção e dispersão, por isso, quanto mais elevado o sol estiver, menores serão os efeitos da camada atmosférica.

Conforme Souza (2016), devido aos fatores citados anteriormente, a máxima irradiância que chega à superfície terrestre é em torno de 1.000 W/m^2 . A radiação que vem diretamente do sol é chamada de Radiação Direta, e a que vem da abóbada celeste é chamada de difusa. Além dessas duas, temos também a Radiação de

Albedo, que é a energia solar refletida da Terra, seja por vegetação, construções, etc. A Irradiância de Albedo é muito pequena. A soma dessas Irradiações é chamada de Irradiação Solar Total.

2.3 FONTES DE DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR

2.3.1 Atlas Brasileiro de Energia

Em 2006 o Atlas Brasileiro de Energia Solar, desenvolvido pelo projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), foi, até 2017, a principal referência utilizada para realizar estimativas do potencial de energia solar no Brasil. Este projeto foi coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e concebido através do levantamento de dados climatológicos de estações de medição e imagens de satélites, no período entre os anos de 1995 e 2005.

Em 2017 o Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição visando aumentar a confiabilidade da base de dados aumentou o período de medição para 17 anos, de 1999 a 2015. Os dados disponibilizados pelo Atlas referem-se aos valores médios das estimativas do total diário de irradiação global horizontal.

De acordo com o PEREIRA (2017), o conhecimento sobre o potencial do recurso solar na Terra é essencial, porém não suficiente para alavancar o seu uso como fonte de energia. Assim, além de informações do potencial disponível, é indiscutível a importância de informações confiáveis sobre a variação do recurso solar para dar suporte ao crescimento de projetos para sistemas fotovoltaicos. A avaliação do potencial de recursos solares em um determinado local envolve basicamente a distribuição espacial, sua variabilidade temporal e as incertezas associadas às duas primeiras componentes. Assim, as três componentes são essenciais para elaboração de cenários de aplicação e para estudos preliminares de viabilidade de aproveitamento do recurso solar, principalmente para sistemas fotovoltaicos.

Algumas terminologias adotadas pelo Atlas que são utilizadas neste trabalho são descritas como:

- Irradiância global horizontal (G): é a taxa de energia total por unidade de área incidente numa superfície horizontal. O valor da irradiância global é dada pela soma da irradiância difusa e a direta ou pela soma

da irradiância difusa mais a multiplicação da irradiância direta normal e o ângulo zenital;

- Irradiância do plano inclinado (G_i): é a taxa de energia total por unidade de área incidente sobre um plano inclinado com base na latitude do local de medição em relação à superfície da Terra (PEREIRA, 2017).

2.3.2 Software Radasol

É um software que utiliza internamente modelos matemáticos com base em fontes bibliográficas, com a finalidade de auxiliar no cálculo de intensidade da radiação solar em superfícies inclinadas. O Radasol foi elaborado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e permite a obtenção de resultados horários, diários e mensais de radiação solar sobre superfícies inclinadas em diferentes orientações. O software é gratuito RADIASOL e pode ser encontrado para download em <http://www.solar.ufrgs.br/>.

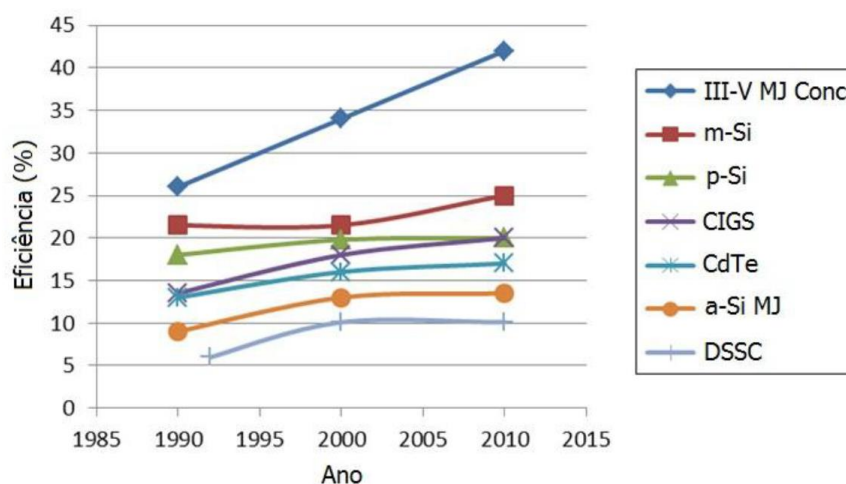
2.4 CÉLULA FOTOVOLTAICAS

Conforme Souza (2016), a energia solar fotovoltaica, é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), utilizando células fotovoltaicas. De acordo com CRESESB (2014), as principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos são classificadas em três gerações, sendo elas:

- Primeira geração: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado;
- Segunda geração: silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe) ou disseleneto de cobre e índio (CIS) e disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS). Denominados de filmes finos, possuem uma modesta participação do mercado;
- Terceira geração: células fotovoltaicas multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV), células sensibilizadas por corante (DSSC) e células orgânicas ou poliméricas (OPV). Ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

A figura 4 mostra a evolução da eficiência das células fotovoltaicas nos anos de 1990 a 2010. Células multijunção para concentração (III-V MJ Conc) foram fabricadas com dupla junção até 1995 e, posteriormente, com junções triplas. A eficiência da célula a-Si MJ (multijunção com silício amorfo) refere-se ao valor já estabilizado após exposição prolongada à luz (CRESESB, 2014).

Figura 4 – Evolução da eficiência das células fotovoltaicas.



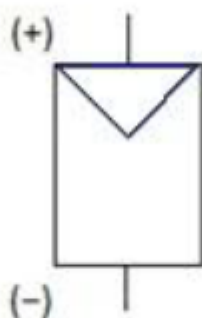
Fonte: CRESESB (2014).

De acordo com CRESESB (2014), um desafio em paralelo para a indústria é o desenvolvimento de acessórios e equipamentos complementares para o sistema fotovoltaicos. Os sistemas de armazenamento de energia e de condicionamento de potência têm sofrido grandes avanços tecnológicos e na redução de custos.

2.5 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Segundo a norma NBR10899 – Energia solar fotovoltaica – Terminologia, o módulo fotovoltaico é uma unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica. O símbolo da figura 5 pode ser utilizado para representar um módulo fotovoltaico.

Figura 5 – Símbolo de módulo fotovoltaico.



Fonte: CRESESB (2014).

O símbolo do módulo fotovoltaico é representado por um retângulo com um triângulo inserido em sua parte superior, possui polaridade de tensão contínua positiva e negativa, representadas por (+) e (-) respectivamente.

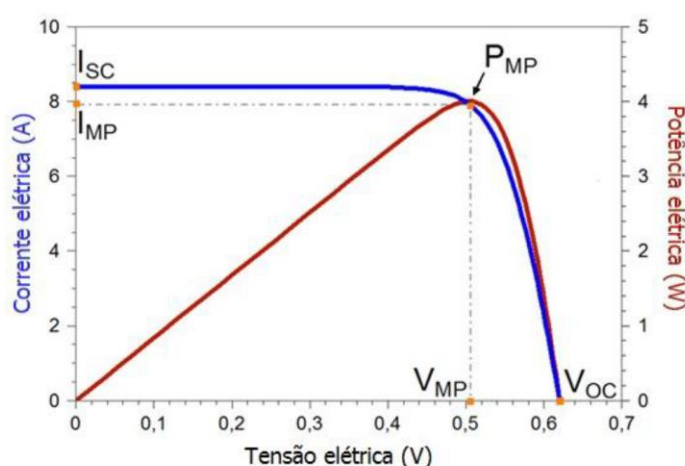
2.5.1 Parâmetros Elétricos

Os parâmetros elétricos que caracterizam as células ou módulos fotovoltaicos são: tensão nominal, tensão máxima de potência, tensão de circuito aberto, corrente máxima de potência, corrente de curto circuito, potência máxima, eficiência, fator de forma (SOUZA, 2016) e (CRESESB, 2014).

- Tensão nominal: é a tensão padrão para a qual o módulo foi desenvolvido para trabalhar.
- Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}): é a tensão máxima que o módulo gerará, em seu ponto de máxima potência, sob as condições padrão de teste (STC).
- Tensão em Circuito Aberto (V_{oc}): tensão máxima que o módulo fornece em seus terminais, sem a presença de uma carga (em vazio). É uma tensão de teste.
- Corrente em Máxima Potência (I_{mp}): corrente máxima que um módulo fotovoltaico pode fornecer a uma carga, em condições padrão de teste.

- Corrente de Curto Circuito (I_{sc}): corrente máxima que o módulo fotovoltaico fornece, quando seus terminais estão em curto circuito, sob as condições padrão de teste. Diferente das baterias e outras fontes de energia, podemos medir a corrente em curto circuito de um módulo fotovoltaico. A corrente em curto circuito, geralmente é 5% superior à corrente máxima.
- Potência Máxima: a corrente elétrica gerada por um módulo varia de zero ao I_{sc} , enquanto a tensão entre os terminais varia de zero até o V_{oc} sob diferentes condições de Irradiância e temperatura, como podemos ver na figura 6. Como a potência é o produto da tensão pela corrente, essa só será a máxima para uma única combinação de tensão e corrente. Um módulo fotovoltaico estará fornecendo a máxima potência, quando o circuito externo possuir uma resistência tal, que determine os valores máximos de tensão e corrente e, portanto, o seu produto será o máximo. Existem aparelhos que possuem a tecnologia de alcançar o ponto de máxima potência (MPP, Maximum Power Point) em diversas condições de irradiância e temperatura. São denominados como Seguidores do Ponto de Máxima Potência (MPP Trackers).

Figura 6 – Potência elétrica em função da tensão elétrica de uma célula fotovoltaica, sob as condições-padrão de ensaio.

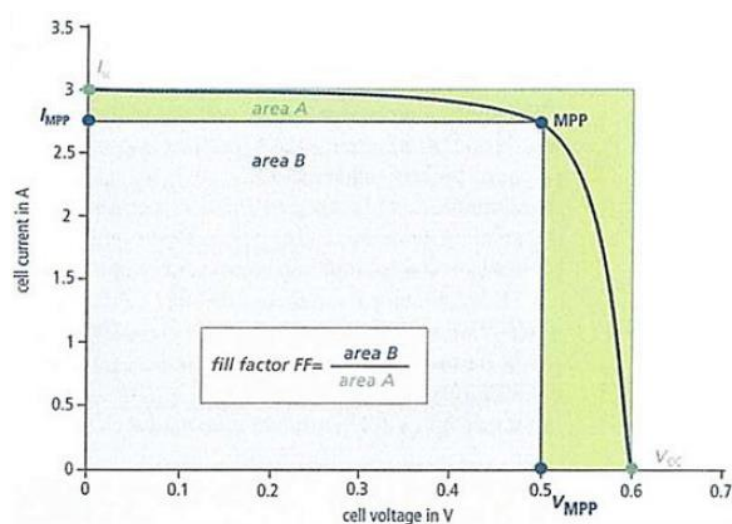


Fonte: CRESESB (2014).

- Fator de Forma (FF): é a razão entre a máxima potência da célula e o produto da corrente de curto circuito com a tensão de circuito aberto. O

FF está representado na figura 7. Quanto menores forem as perdas resistivas (série e paralelo), mais próximo da forma retangular será a curva corrente-tensão (I-V).

Figura 7 – Representação gráfica do fator de forma.



Fonte: SOUZA (2016).

- Eficiência (η): é o quociente entre a potência gerada e a irradiância incidente sobre o módulo.

2.5.2 Condições de Teste e Operação

Para os testes de performance e rotulagem dos módulos fotovoltaicos, é utilizado um padrão de irradiância, massa de ar e temperatura. Esse padrão, chamado de Condições Padrão de Teste (STC) é obtido em laboratório através de um simulador solar (SOUZA,2016). A tabela 2 informa valores comparativos entre três condições.

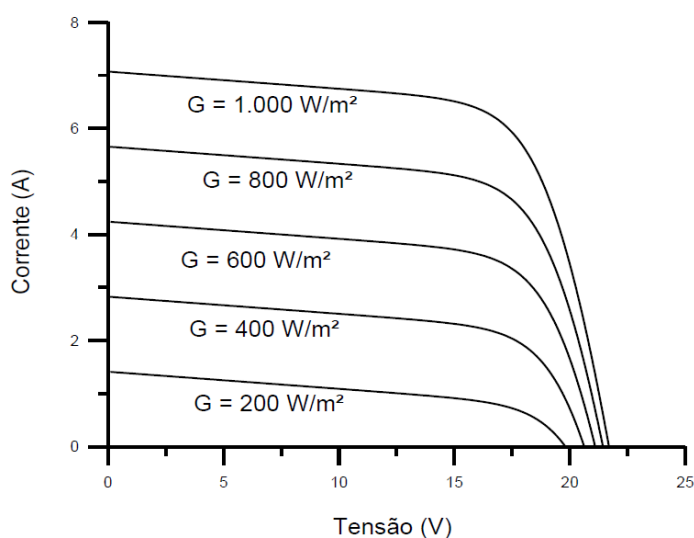
Tabela 2 – Condições de teste e operação dos módulos fotovoltaicos.

Parâmetros	STC	NON-STC	G-NOCT
Irradiância (G)	1.000 W/m ²	800 W/m ²	200 W/m ²
Massa de Ar (AM)	1,5	2	2
Temperatura da célula	25°C	45°C	45
Temperatura do ar	0°C	20°C	20°C

Fonte: SOUZA (2016).

É recomendado que os fabricantes acrescentem informações dos testes em STC, inclusive em baixas irradiâncias, como mostrado na tabela 2. Isso devido ao valor da potência máxima de um módulo comercial ser diferente da nominal quando este está recebendo irradiâncias menores, ou quando suas células estão submetidas a temperatura diferentes de 25°C (SOUZA, 2016). Na figura 8 verifica-se a variação de tensão em circuito aberto e corrente de curto circuito de acordo com a irradiância, pode-se verificar que a tensão varia menos que a corrente.

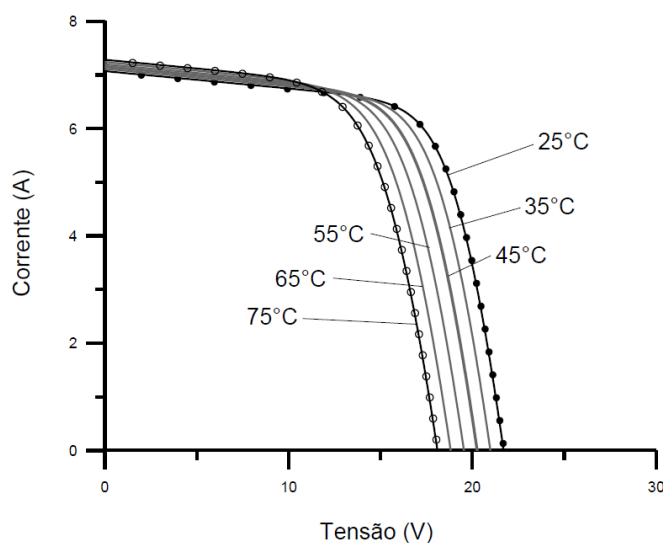
Figura 8 – Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva I-V.



Fonte: CRESESB (2014).

O desempenho das células fotovoltaicas também sofre variação de acordo com a temperatura. Com o aumento de temperatura, a tensão de circuito aberto cai e a corrente de curto circuito aumenta (SOUZA, 2016). Verifica-se na figura 9 que a queda de tensão é maior que o incremento de corrente, reduzindo significativamente a potência dos módulos.

Figura 9 – Variação da tensão e corrente de um módulo em função da temperatura.



Fonte: CRESESB (2014).

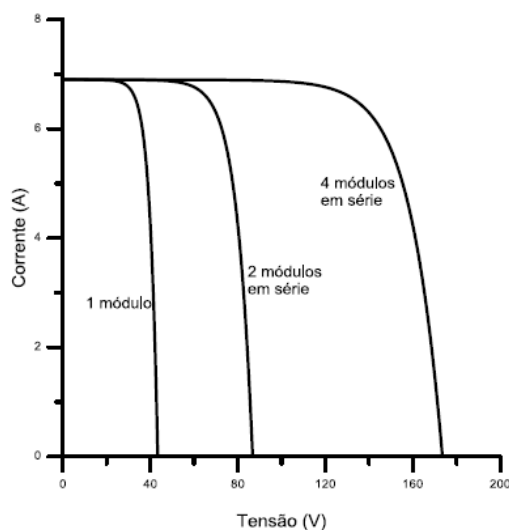
A variação de temperatura nas células que compõem os módulos depende da temperatura do local instalado e do calor absorvido proveniente da incidência de radiação solar (CRESESB, 2014).

2.5.3 Associação de Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são conectados em ligações série e/ou paralelo, dependendo da tensão e corrente desejadas para formar painéis fotovoltaicos com potência mais elevada. Para definir como serão associados os módulos, é recomendado ter as informações de como será a instalação e quais componentes serão utilizados, pois os valores de tensão e correntes gerados pelo painel deverão ser compatíveis com o resto dos componentes do sistema fotovoltaico. (CRESESB, 2014).

De maneira análoga à conexão das células fotovoltaicas, quando a ligação dos módulos é feita em série, as tensões são somadas e a corrente (para módulos iguais) permanece inalterada. O efeito da conexão em série de módulos idênticos está ilustrado na figura 10, através da curva característica I-V (CRESESB, 2014).

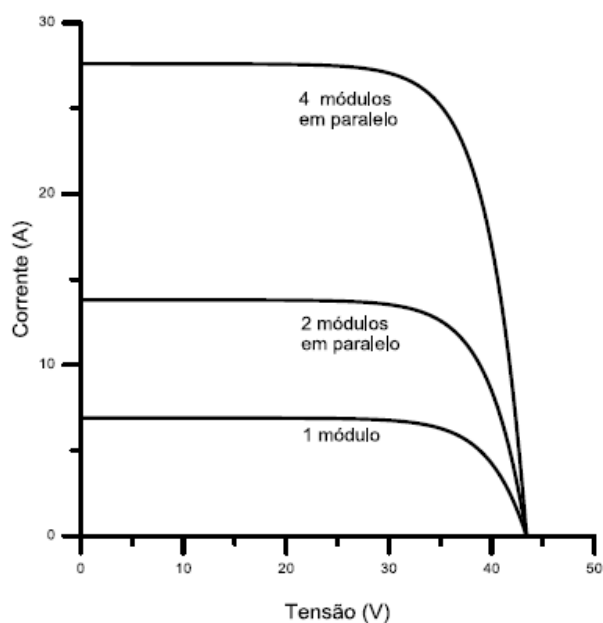
Figura 10 – Curvas I-V para um módulo de 220 Wp, 2 e 4 módulos idênticos associados em série.



Fonte: CRESESB (2014).

A conexão em paralelo é feita interligando-se os terminais positivos dos módulos entre si e procedendo-se da mesma forma com os terminais negativos. Esta conexão resulta na soma das correntes sem alteração da tensão. A figura 11 ilustra a consequência da soma das correntes em módulos idênticos conectados em paralelo através da curva característica I-V (CRESESB, 2014).

Figura 11 – Curvas I-V para conexão em paralelo dos mesmos módulos fotovoltaicos da figura 10.



Fonte: CRESESB (2014).

De acordo com CRESESB (2014), para que a corrente não seja afetada na associação em série, é imprescindível buscar módulos idênticos sob as mesmas condições de radiação e temperatura. Caso exista uma diferença entre características elétricas ou um sombreamento parcial, a corrente dos painéis conectados em série é limitada pelo módulo com a menor corrente individual.

2.6 APLICAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

De acordo com CRESESB (2014), os sistemas fotovoltaicos (SFV) podem ser classificados de duas maneiras: isolados (SFVI) e conectados à rede (SFVCR). Ambos podem operar a partir apenas da fonte fotovoltaica ou combinada com uma ou mais fontes de energia, no segundo caso, sendo classificada como sistema híbrido.

2.6.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados (*Off-grid*)

O sistema fotovoltaico isolado (SFVI), tema desta monografia, é aquele que não está conectado com a rede elétrica da concessionária. Um SFVI tem a função de abastecer consumidores ou equipamentos que não possuam o atendimento da concessionária local, ou em casos específicos que o consumidor ou projeto opte em não se conectar à rede elétrica da concessionária.

De acordo com Souza (2016), o painel fotovoltaico para sistemas autônomos é usualmente configurado para fornecer tensões de 12, 24 e 48 volts, tensões consideradas padrões para baterias. O painel é dimensionado para fornecer a potência elétrica de acordo com a demanda do consumidor. No caso dos SFVI, a energia gerada é utilizada imediatamente ou armazenada nas baterias caso não haja demanda instantânea.

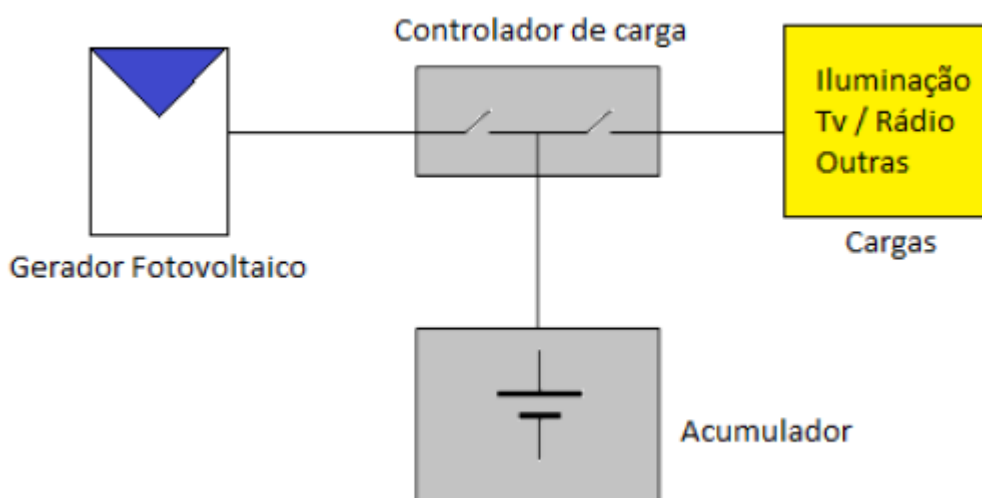
Normalmente, o SFVI possui um banco de baterias, que é calculado de acordo com cada aplicação. O banco de baterias pode ser conectado em série e/ou paralelo, dependendo da capacidade desejada, do arranjo dos módulos e das características elétricas de outros componentes. De acordo com a CRESESB (2014), a operação de uma bateria usada em um SFVI deve atender dois tipos de ciclos: ciclos rasos a cada dia e ciclos profundos por alguns dias (tempo nublado) ou semanas de inverno. As baterias de aplicações fotovoltaicas comercializadas no Brasil devem apresentar a

etiqueta do Inmetro. O âmbito de aplicações da etiquetagem de baterias, expressa na portaria Inmetro nº 004/2011 (INMETRO, 2011), envolve baterias estacionárias de baixa intensidade de descarga, de tecnologia alcalina Níquel-Cádmio ou Chumbo-ácido, para aplicação fotovoltaica, excluindo-se baterias automotivas ou tracionárias.

Os SFVI, por ser autônomo a rede, não existe regulamentação específica, não havendo a necessidade de um pedido formal de autorização. Em geral, o SFVI é uma solução para atender um propósito específico, como trazer energia a locais remotos e de difíceis acesso, onde o abastecimento energético padrão não chega ou é deficiente, ou ainda onde o custo de se conectar à rede seja muito alto. Gerar energia para postes de iluminação, bombas d'água e sistema de rádio comunicação são outros exemplos comuns de seu uso (SOLARVOL, 2015).

A figura 12 ilustra o posicionamento do controlador de carga em um SFVI.

Figura 12 – Diagrama unifilar de um sistema fotovoltaico domiciliar isolado em CC.



Fonte: CRESESB (2014).

Os elementos fundamentais para o funcionamento de um SFVI são o gerador fotovoltaico, a carga e um acumulador de energia (bancos de baterias). Para conseguir uma boa adaptação entre as características do acumulador e do gerador fotovoltaico, aumentando o rendimento do conjunto e prolongando a vida útil dos componentes, deve-se instalar um controlador de carga, que evite carga e descarga excessivas no acumulador (CRESESB,2014).

2.6.1.1 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado

A base do dimensionamento de um SFVI está no levantamento do quadro de carga do sistema. O quadro e carga é basicamente a soma das energias consumidas por cada equipamento a ser conectado ao SFVI. É geralmente feito em uma planilha listando os equipamentos e suas respectivas potências e tempo diário/ semanal/ mensal de funcionamento (CRESEB, 2014).

Após definir o quadro de carga, é necessário determinar a potência dos módulos fotovoltaico e a capacidade de armazenamento das baterias. Para calcular a potência dos módulos em um SFVI, pode-se utilizar como base o método do mês crítico, que consiste na realização do dimensionamento do SFVI considerando um balanço de energia durante o período do ano considerando as piores condições médias para o sistema. Supõe-se que se o SFVI operar adequadamente neste mês, nos outros meses restantes a produção será igual ou superior (CRESEB, 2016). Para determinar a inclinação do painel que maximize os meses de inverno, pode-se fazer uso do software RADIASOL e o banco de dados do Atlas Solar. Após obter o valor de irradiação mínimo e total de carga consumida (CRESEB, 2014), é possível calcular a potência do módulo, em condições STC, utilizando a equação descrita em (1).

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G}{H_{TOT} \cdot R} \cdot F_{CARREG} \quad (1)$$

Onde:

P_{FV} = potência do Painel (Wp)

E = energia demanda pelas cargas diariamente (Wh/dia)

G = irrâdiancia nas condições STC (1.000W/m²)

H_{TOT} = irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (Wh/m².dia)

R = rendimento do conjunto de aparelhos e componentes do sistema

F_{CARREG} = fator de carregamento diário das baterias

Para o dimensionamento do banco de baterias utiliza-se a norma NBR 14298 – Sistemas fotovoltaicos – Banco de Baterias – Dimensionamento, que apresenta uma série de

recomendações quanto à autonomia de SFVI puros também o roteiro para o dimensionamento (URBANETZ, 2017). De acordo com o site da ABNT, esta norma encontra-se cancelada desde 2012 e não possui informação de uma norma substituta.

2.6.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (*On-grid*)

De acordo com Souza (2016), os SFV conectados à rede a energia elétrica gerada é entregue diretamente à rede, os dispositivos de condicionamento de potência devem se adequar ao modo como a eletricidade está fluindo nas linhas de distribuição, copiando esse padrão e fornecendo o mesmo tipo de sinal elétrico. No sistema conectado à rede são utilizados dispositivos e configurações específicas. O dispositivo responsável pela injeção de energia na rede é o inversor *grid-tie*. Devido ao seu alto grau de complexidade, os inversores *grid-tie* não são comparáveis aos inversores autônomos do sistema isolado. Estes não podem ser ligados diretamente às redes de distribuição, pois não possuem o mesmo controle sobre a tensão, fase e frequência que os inversores *grid-tie* possuem.

Diferenças entre SFVI e SFV conectado à rede (CRESESB,2014):

- Em SFV conectados à rede não há necessidade de armazenamento de energia elétrica;
- Os sistemas operam obrigatoriamente em CA, na mesma frequência da tensão da rede local;
- Quando não há tensão na rede, o sistema fica inoperante mesmo com irradiação solar presente;

Os SFVCRs são constituídos por: painel FV e inversor. Não são utilizados elementos para armazenar a energia elétrica. Basicamente, a rede elétrica da concessionária é vista como o elemento armazenador, pois toda a energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede (URBANETZ, 2010). A Figura 13 mostra a configuração básica de um sistema conectado à rede.

Figura 13 – Esquemático básico do SFVCR



Fonte: REALSOLAR (2018).

Para o SFVCR também é necessário um medidor bidirecional, que é responsável por registrar a quantidade de energia gerada/injetada na rede, em kWh, e a energia consumida da concessionária, em kWh.

2.7 REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

2.7.1 Conceitos de RI

As RI utilizam tecnologia digital para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade em tempo real com fluxo de energia e de informações bidirecionais entre o sistema de fornecimento de energia e o cliente final, integrando e possibilitando ações por todos os usuários conectados a ela.

Como informa Falcão (2010), a introdução do conceito de RI produzirá uma convergência acentuada entre as infraestruturas de geração, transmissão e distribuição de energia e a infraestrutura de comunicações digitais e processamento de dados. A infraestrutura de comunicações funcionará como no conceito de uma “Internet das coisas”, interligando os chamados *Intelligent Electronic Devices* (IEDs) e trocando informações e ações de controle entre os diversos segmentos da rede elétrica. Essa convergência de tecnologias exigirá o desenvolvimento de novos

métodos de controle, automação e otimização da operação do sistema elétrico, com forte tendência para utilização de técnicas de resolução distribuída de problemas baseadas na utilização de multi-agentes.

2.7.2 Sistema de Reconfiguração Automática da Rede Elétrica

Os investimentos das concessionárias de energia em automação na rede de distribuição (RD) aumentaram nos últimos anos devido à necessidade em reduzir os custos operacionais e o tempo de descontinuidade de fornecimento (FALCÃO, 2010). As intervenções e contingências não programadas na RD causam prejuízo para as concessionárias (multas e perda de faturamento), aos consumidores (queima de equipamentos) e a indústria (prejuízo por parada de produção).

Segundo Bovolato (2013), um sistema de reconfiguração automática (*self-healing*) possibilita a identificação e a isolação dos componentes de faltas na rede elétrica. A atividade pode ser conduzida com ou sem intervenção humana e tem como objetivo minimizar as interrupções de serviço e a aumentar a confiabilidade do sistema.

De acordo com PRAMIO (2014alimen), alguns componentes são essenciais para a construção de um sistema de *self-healing*, sendo eles:

- Alimentadores ou Fontes: na rede aérea estão localizadas na saída das subestações ou de gerações privadas, conduzindo a energia até os consumidores atendidos em média tensão e aos transformadores de distribuição. Representam os pontos onde os segmentos de rede podem se conectar para restabelecerem o fornecimento de energia. Os alimentadores e fontes de um mesmo sistema de reconfiguração devem trabalhar no mesmo nível de tensão, frequência de operação e devem possuir um sistema de proteção de sobrecarga/sobrecorrente independente;
- Disjuntores, religadores ou chaves: são os equipamentos responsáveis pela proteção, isolamento e manobra nos sistemas de reconfiguração automática. Devem obrigatoriamente ser IED e podem ou não possuir uma infraestrutura de comunicação;
- Infraestrutura de comunicação: existem sistemas de reconfiguração automática sem infraestrutura de comunicação, porém são limitados. Os

sistemas que levam comunicação podem utilizar diversos canais de comunicação como: fibra-óptica, rádios privados, rede GPRS ou outros.

2.7.3 Sistema de Reconfiguração Automática IntelliTeam® SG

O sistema IntelliTeam® SG (ITSG) é um sistema de reconfiguração automática desenvolvido pela empresa americana S&C Electric Company. Utiliza como base uma infraestrutura de comunicação uma rede privada que pode ser via rádio *mesh*, rádio com roteamento dinâmico ou fibra óptica, para monitoramento em tempo real dos status analógicos e digitais de todos os componentes da RD onde ele está inserido. O ITSG utiliza os dados para encontrar falhas de sobrecorrente, sobretensão, subtensão e de frequência, e a partir dos dados, iniciar automaticamente o processo de reconfiguração da rede (ITSG, 2017).

O sistema ITSG, trabalha de forma independente ao Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA). Porém as concessionárias de energia podem optar em desabilitar o sistema ITSG e operar a rede manualmente caso possuam o SCADA.

Abaixo seguem alguns dos conceitos do sistema ITSG segundo o manual de descrição do produto (ITSG, 2017):

- O sistema ITSG trabalha no formato de times, utilizando um sistema descentralizado para tomada de decisões. Cada time, tem como finalidade manter a energia em seu segmento de rede utilizando sua fonte principal. Um time é constituído de membros (equipamentos de manobra e proteção da RD) que compartilham o mesmo segmento de rede;
- Se a fonte principal de um time for perdida, o time avalia as capacidades das fontes alternativas e transfere as cargas para a fonte mais adequada, podendo ser mais de uma;
- Em caso de sobrecarga do sistema, o ITSG pode realizar o corte de cargas de acordo com sua prioridade;
- Quando a fonte principal do time é restabelecida ou a falta na rede é corrigida, o ITSG tem a capacidade de retornar o sistema ao seu estado normal de configuração;

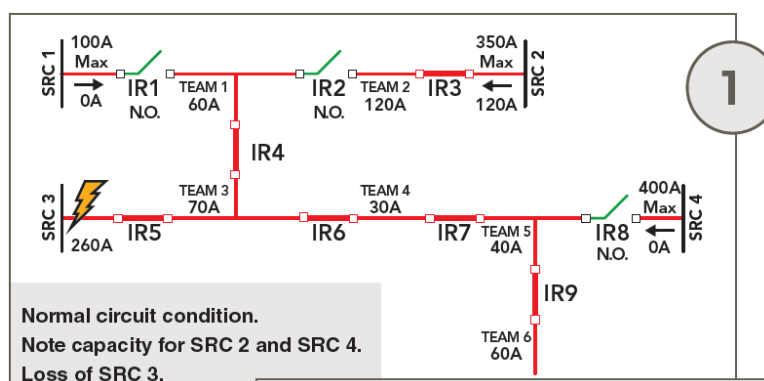
- Pode atender múltiplas contingências.

2.7.3.1 Exemplo Sistema IntelliTeam® SG

Considerando o cenário com quatro alimentadores, SRC 1, SRC 2, SRC 3 e SRC 4, nove IEDs de IR1 até IR9 com suas respectivas posições de manobra (aberto/fechado) e cargas de acordo com a figura 14. Neste exemplo ocorre uma ausência de tensão no segmento entre SRC 3 e IR5.

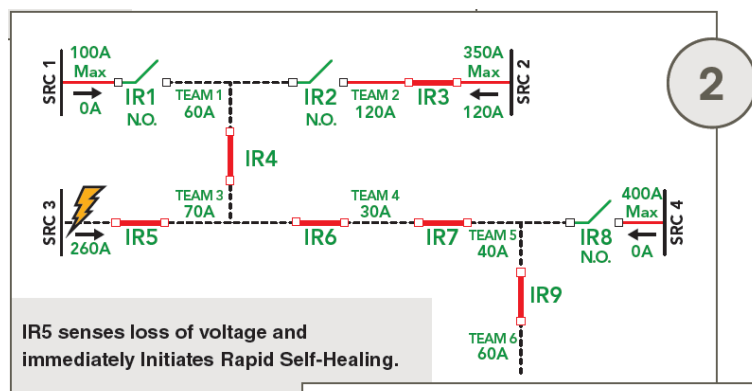
O ITSG verifica quais fonte tem capacidade para atender o segmento atingido pela subtensão. Neste caso o SRC 4 possui a capacidade de atender a demanda de 260A do trecho faltoso, figura 15. Logo o ITSG comanda a abertura de IR5, isolando assim a falha e comanda o fechamento do IR8, restaurando a energia em todo o segmento atingido, figura 16.

Figura 14 – Sistema em sua condição normal, ausência de tensão no SRC 3.



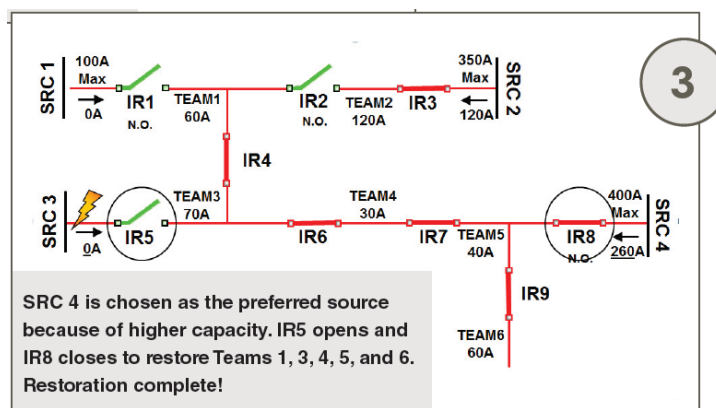
Fonte: ITSG, (2017).

Figura 15 – IR5 sente a ausência de tensão e inicia o processo de reconfiguração.



Fonte: ITSG, (2017).

Figura 16 – SRC 4 é escolhido como fonte preferencial por possuir capacidade suficiente. IR5 abre e IR8 fecha, restaurando os times 1,3,4,5 e 6.



Fonte: ITSG, (2017).

Durante a reconfiguração do sistema, os operadores são notificados de que o sistema está em operação, através da configuração de alarmes no sistema SCADA. Uma vez que a reconfiguração é finalizada, o sistema fica apto para atuar em caso de outra contingência.

2.8 INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO

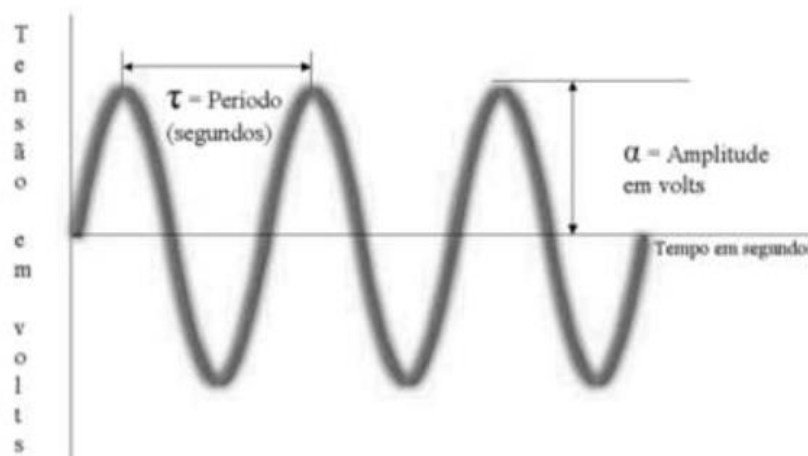
A infraestrutura de comunicação utilizada neste estudo é a de radiofrequência na faixa de 900MHz com tecnologia *Mesh*.

2.8.1 Propriedades da Rádio Frequência

Redes de radiofrequência utilizam as ondas geradas por rádios para propagarem informações através do meio físico, que no caso, é o ar. Rádio frequência são correntes alternadas de alta frequência que passam pelos cabos condutores e que chegando até as antenas onde são convertidas em ondas eletromagnéticas (OEM) e irradiadas pelo ar. No lado do receptor, as OEM são captadas e interpretadas, fazendo o processo inverso do transmissor (TELECO,2018).

Uma OEM possui como características amplitude (V), período (s), comprimento de onda (m) e frequência (Hz), conforme a figura 17.

Figura 17 – Forma de uma onda senoidal.



Fonte: TELECO (2018).

Para evitar sobreposições no uso de ondas de rádio, foram criadas faixas de frequência disponíveis para cada tipo de aplicações. Nesta monografia será utilizado a faixa U.H.F. (*Ultra High Frequency*) ou micro-ondas, que atende a faixa de 300-2GHz, é utilizada na transmissão de TV, sistemas comerciais e particulares de comunicação, etc.

Apresentam-se a seguir algumas propriedades das radiofrequências:

- Relação Sinal-ruído: A relação sinal-ruído (SNR) descreve a potência do sinal comparado com o ruído de fundo, quanto maior for a SNR melhor é a potência do sinal (TELECO, 2018);
- Atenuação: Perdas de potência do sinal que se propaga em um meio de transmissão (JUNIOR, 2003);
- Ganho: O ganho pode ser entendido como o aumento da amplitude de um sinal de RF, ele é dado em referência a uma antena padrão, normalmente uma antena isotrópica, onde o ganho é expresso em dBi (TELECO, 2018);
- Desvanecimento: Ocorre devido a algum problema de propagação, geralmente pelas ondas de multipercurso. O sinal recebido varia de intensidade a cada instante, aumenta e diminui passando por nulos e zeros de tensão (MEDEIROS, 2007);

- Múltiplos Caminhos: O múltiplo caminho ocorre quando há mais de um caminho disponível para a propagação do sinal de rádio. O fenômeno da reflexão, difração e espalhamento dão origem a caminhos adicionais de propagação entre transmissor e receptor (SANSHEES, 2005);
- Reflexão: A reflexão de uma onda quando feitas em certas superfícies pode ocasionar a inversão completa (inversão de 180) ou parcial da fase da onda, quando essa onda refletida combinada com a onda original e chega ao receptor pode ocasionar interferências e degradação do sinal. Dependendo do tempo que a onda (refletida e a onda original) chega ao receptor e da inversão de fase que houver, o sinal original pode ser completamente cancelado (TELECO, 2018);
- Refração: Desvio sofrido por uma onda de rádio ao passar por meios de diferentes densidades. Por exemplo, uma luz que incide sobre a água que sofre um desvio, para links de longa distância esse fenômeno é prejudicial, pois dependendo das mudanças atmosféricas o sinal pode ser desviado (TELECO, 2018);
- Difração: A difração se assemelha a uma pedra jogada no lago, que cria ondas e que se propagam na água, e que quando se deparam com os obstáculos essas ondas tem a tendência de contornar esses obstáculos (TELECO, 2018);
- Espalhamento: Ocorre em superfícies irregulares onde as dimensões são menores que comprimento de onda. Ele é difuso e é produzido normalmente por superfícies muito ásperas (TELECO, 2018);
- Absorção: É quando o sinal de da OEM atingi um objeto e é absorvido pelo material, sem atravessar, refletir ou contorna (TELECO, 2018);
- Interferência: A interferência é como o nome sugere, ela interfere e prejudica a comunicação entre sistemas (TELECO, 2018).

2.8.2 Redes *Mesh*

Redes *mesh* “são redes de múltiplos saltos, autoconfiguráveis, com topologia dinâmica, variável e de crescimento orgânico, constituídas por nós cuja comunicação, no nível físico, é feita através de uma das variantes do padrão IEEE 802.11 (*Wireless*

Local Area Network – WLAN), e cujo roteamento é dinâmico” (MACHADO, 2011). Em outras palavras, uma mensagem para ir por exemplo de Curitiba para o São Paulo, poderá efetuar diversos saltos (*multi-hops*), como por exemplo, ir de Curitiba para o Rio de Janeiro, para melhor chegar ao seu destino final, São Paulo. O percurso fica mais longo, mas certamente naquele momento é o mais eficiente.

De acordo com TELECO (2018), uma rede wireless *Mesh* apresenta diversos benefícios se comparada com uma rede wireless *broadband* tradicional. Dentre estes benefícios pode-se citar:

- Aumento da distância entre a origem e o destino, sem prejudicar a taxa de transmissão;
- Otimização do espectro de frequências;
- Redução do custo da rede;
- Robustez.

Dos benefícios listados, o aumento da distância entre a origem e destino e a robustez da rede, são características da infraestrutura de rede utilizada neste projeto.

3 PROJETO DA REPETIDORA DE SINAL

Utilizando como base os fundamentos teóricos explicados anteriormente, apresenta-se neste capítulo o projeto detalhado de um sistema fotovoltaico isolado para aplicação em repetidoras de sinal de rádio frequência, como solução para projetos de redes inteligentes.

Primeiramente será apresentado o escopo inicial do projeto, na sequência o sistema como está instalado em campo, detalhamento do problema e posteriormente a solução proposta por essa monografia.

3.1 ESCOPO DO PROJETO

O escopo inicial do projeto representa os marcos que devem ser atingidos para que haja sucesso na entrega do projeto. Como o foco desta monografia é a solução da infraestrutura de comunicação, será listado alguns pontos do escopo do sistema de comunicação, sendo eles:

- Operar em frequência livre na faixa de 900MHz a (ANATEL, 2013);
- Utilizar rádios com tecnologia *Mesh*;
- Cada membro de um time, deve possuir uma rota principal de comunicação com níveis de sinal mínimo de -85 dBm por enlace;
- Cada membro de um time, deve possuir uma rota secundária de comunicação com níveis de sinal mínimo de -85 dBm por enlace;
- Caso não seja possível o atendimento do nível de sinal mínimo, para a rota primária e secundária, deve-se fazer o uso de repetidoras de sinal;
- O número de saltos máximo para a comunicação entre dois membros de um mesmo time é limitado em três;
- Os painéis de comunicação devem ter autonomia de no mínimo 24 horas em caso de falha na alimentação principal.

3.2 SISTEMA ATUAL

A figura 18 apresenta o diagrama unifilar de um circuito que interliga as subestações Xanxerê 1 (XXE1) e Bom Jesus (BJ), entre elas estão instalados cinco religadores de proteção de linha (diversos fabricantes) denominados RL1, RL2, RL3, RL4 e RL5. Para o sistema ITSG, considera-se o circuito normal com os estados (posição do religador) de RL1, RL2, RL4 e RL5 fechados e RL3 aberto.

Figura 18 – Diagrama unifilar do circuito entre XXE1 e BJ.



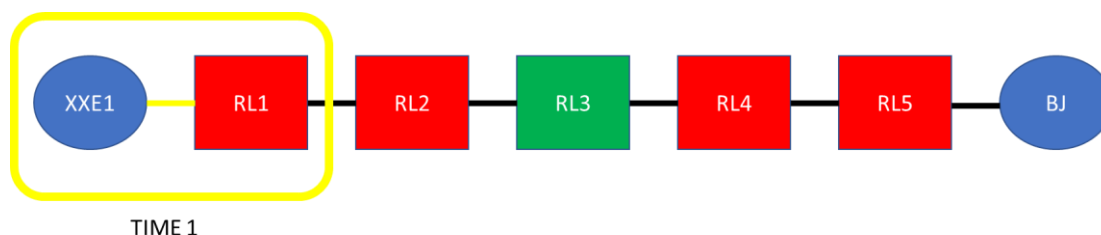
Fonte: Autoria própria.

A tensão nominal do circuito é de 13,8kV entre fases, frequência de operação de 60Hz, corrente máxima limitada pela bitola dos cabos de 300A.

Como explicado na descrição teórico do sistema ITSG, o sistema trabalha com a filosofia de times, um time é um conjunto de membros (equipamentos de manobra e proteção) que dividem o mesmo segmento de linha (ITSG, 2017), como por exemplo na figura 19 a representação do TIME 1. Tomando como base a descrição acima, é possível classificar os outros times como:

- TIME 1 = XXE1 e RL1;
- TIME 2 = RL1 e RL2;
- TIME 3 = RL2 e RL3;
- TIME 4 = RL3 e RL4;
- TIME 5 = RL4 e RL5;
- TIME 6 = RL5 e BJ.

Figura 19 – Diagrama unifilar do circuito entre XXE1 e BJ, referenciando a formação do TIME 1.



Fonte: Autoria própria.

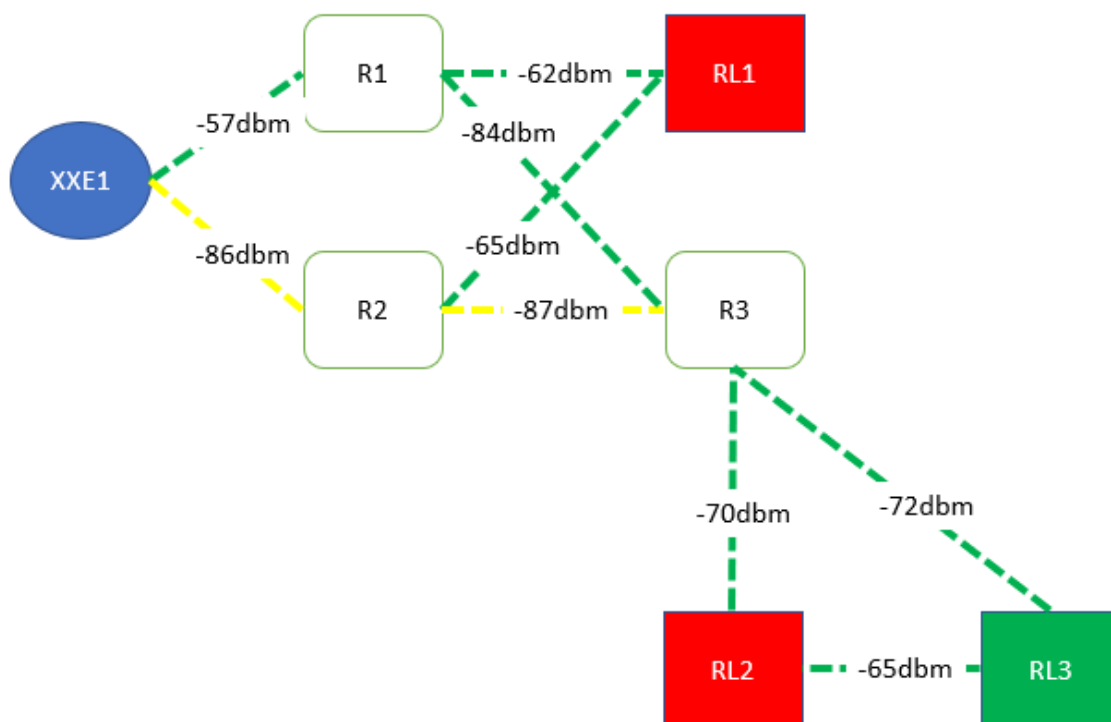
Para o funcionamento do sistema ITSG, de acordo com informações do fabricante, obrigatoriamente os membros de um mesmo time devem comunicar entre si utilizando algum meio de comunicação (ITSG, 2017).

Este projeto utilizou os rádios SpeedNet™ (SN). O rádio opera na frequência de 900MHz, possui a tecnologia *mesh*, possui taxa de transmissão de até 650kbps e pode possuir enlaces com linha de visão de até 40km. O rádio SN possui sensibilidade máxima de -99 dBm, porém com base no escopo do projeto, o grau de confiabilidade dos *links* pode ser classificado da seguinte forma:

- Link $> -75\text{dBm}$ = *Link* ideal, com uma taxa mínima de pacotes perdidos ou repetidos;
- $-75\text{dBm} > \text{Link} > -85\text{dBm}$ = *Link* aceitável, com uma taxa média de pacotes perdidos ou repetidos;
- Link $< -85\text{dBm}$ = Link a ser reavaliado, com uma taxa alta de pacotes perdidos ou repetidos.

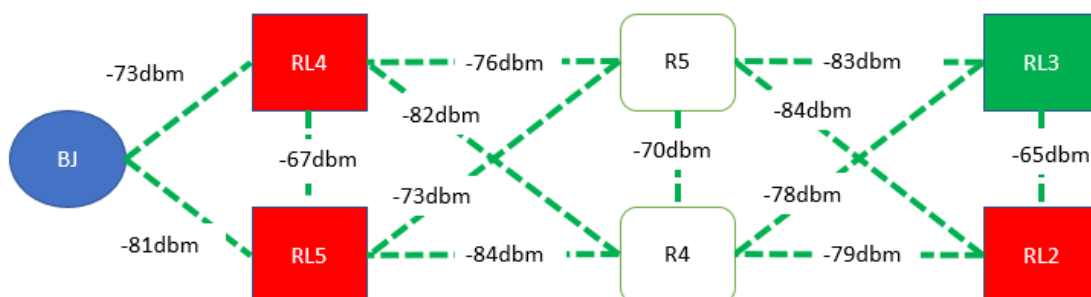
Neste projeto, para estabelecer a conexão de dados entre os membros do sistema ITSG, foram utilizadas cinco repetidoras de sinal denominadas R1, R2, R3, R4 e R5. A figura 20 e 21, descrevem os diagramas de nível de sinal entre os membros do TIME 1, 2, 3, 4, 5 e 6 e as repetidoras R1, R2, R3, R4 e R5.

Figura 20 – Digrama dos níveis de sinal de rádio, TIME 1, 2 e 3.



Fonte: Autoria própria.

Figura 21 – Digrama dos níveis de sinal de rádio, TIME 4, 5 e 6.



Fonte: Autoria própria.

Todos os painéis das repetidoras de sinal possuem uma alimentação de 220VAC. A alimentação em alguns casos vem diretamente de um ponto monofásico da rede, em alguns casos necessita de um TP (transformador de potência) com a finalidade de adequar a tensão de alimentação de 13.8kV para 220V. Além de possuir

uma bateria de 12V, 115Ah. A lista de componentes necessários para a instalação completa encontra-se descritos na tabela 3.

Tabela 3 – Lista de componentes do painel da repetidora + TP.

ID	Descrição do Componente	Qtd	Preço (Reais)
1	Rádio SpeedNet 900MHz	1	R\$ 10.000,00
2	Cabo Coaxial TNC-Tipo N - RG59	0,5	R\$ 50,00
3	DPS classe I, para aplicações de radiofrequência/ telecomunicações	1	R\$ 350,00
4	Cabo Coaxial Tipo N -Tipo N - RGC 213	10	R\$ 150,00
5	Suporte para antena – Galvanizado	1	R\$ 300,00
6	Antena omndirecional 900 MHz	1	R\$ 950,00
7	Painel da repetidora	1	R\$ 1.500,00
8	Suporte para o Painel da Repetidora	1	R\$ 350,00
9	Bateria Estacionária 12v 115Ah	1	R\$ 912,00
10	S-12-30 Fonte Chaveada 110/220VAC - 12VDC / 30A / 360W	1	R\$ 450,00
		TOTAL	R\$ 15.012,00
11	Transformador Monofásico 5kva - Classe 15 kV	1	R\$ 1.500,00
		TOTAL + TP	R\$ 16.512,00

Fonte: Aatoria própria.

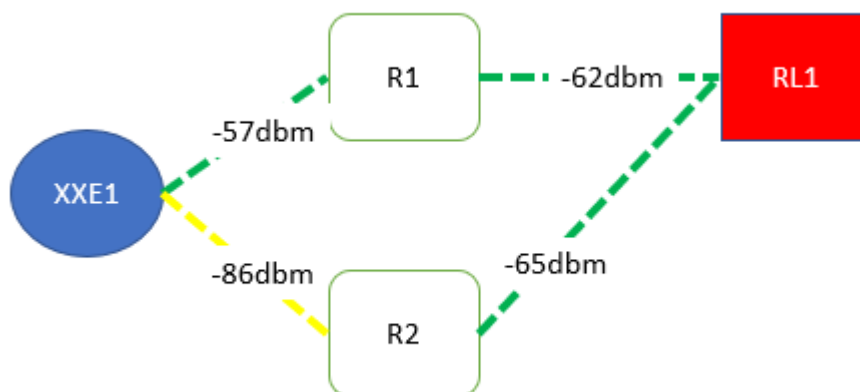
O item 11 da tabela 3 é considerada somente nos casos em que há necessidade da utilização do TP para adequar a tensão de alimentação do painel.

3.3 PROBLEMÁTICA

A adversidade encontrada neste projeto, tema desta monografia, são divididas em duas partes, primeira encontra-se na infraestrutura de comunicação de rádio entre os membros dos TIMES 1 e 2. Tomando como base o escopo do projeto de comunicação, os TIMES 1 e 2 não cumprem os seguintes pré-requisitos:

- Comunicação entre XXE 1 e RL1 (TIME 1) possui duas rotas de comunicação, o principal e secundário, através de R1 e R2 respectivamente. Porém o enlace entre XXE 1 e R2 excede o nível de sinal de -85dBm. Comunicação do TIME 1 é ilustrado na figura 22;

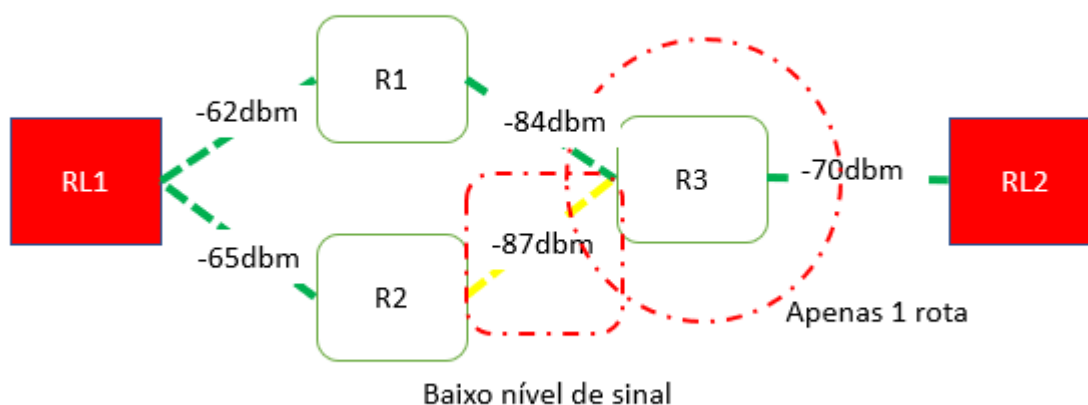
Figura 22 – Diagrama de comunicação TIME 1.



Fonte: Autoria própria.

- Comunicação entre RL1 e RL2 possui (TIME 2) duas adversidades. A primeira é a existência de apenas da rota principal quando a comunicação chega em R3. O segundo, é o nível de sinal no enlace entre R2-R3 excede o nível de sinal de -85dBm. Comunicação do TIME 2 é ilustrado na figura 23.

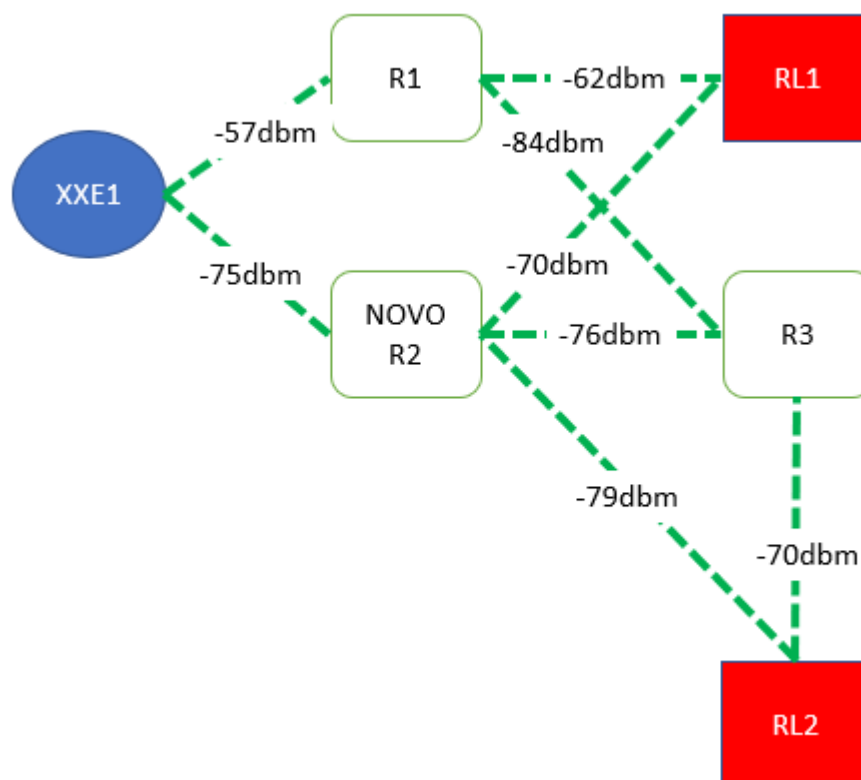
Figura 23 – Diagrama de comunicação TIME 2.



Fonte: Autoria própria.

Analisando as informações sobre a problemática, conclui-se que o ponto atual de R2 não atende tecnicamente o escopo do projeto. Em um estudo de rádio realizado em campo foi encontrado um ponto para instalação de R2 com a possibilidade de enlaces com níveis de sinal dentro dos limites entre XXE1, RL1, RL2 e R3, figura 24. Porém, este local encontra-se distante em aproximadamente 3,75 km, de um ponto de conexão à rede de concessão da concessionária.

Figura 24 – Diagrama de comunicação considerando o novo R2.



Fonte: Autoria própria.

O novo ponto para R2 encontra-se nas coordenadas 26.84S, 52.37W. Este ponto não possui um ponto de conexão de alimentação próximo a rede elétrica da concessionária local. Sendo assim, nas seções 3.4 e 3.5 serão apresentadas duas possibilidades para alimentação de R2, uma através de um SFVI e outra via construção de uma rede aérea.

3.4 PROJETO SFVI PARA ALIMENTAÇÃO DE R2

Nesta seção, será detalhado o projeto de alimentação do novo ponto de R2 utilizando um SFVI, com a finalidade de atender os requisitos do escopo de comunicação do projeto.

3.4.1 Informações de Localidade

As informações de localidade do novo R2 estão descritas na tabela 4.

Tabela 4 – Informações de localidade.

Município	Xanxerê
Estado	Santa Catarina
Latitude	26.84 S
Longitude	52.37 W
Logradouro	-
CEP	-
Informações adicionais	Lavoura de soja, propriedade particular

Fonte: Autoria própria.

3.4.2 Previsão de Carga

Para o dimensionamento dos equipamentos que compõem um SFVI, necessita-se realizar o levantamento da quantidade diária de consumo do painel (Wh/dia ou kWh/dia) necessário para realizar as atividades desejadas (CRESESB, 2014). Na tabela 5 demonstra o quadro de previsão de carga em um painel de repetidora padrão.

Tabela 5 – Quadro de previsão de carga.

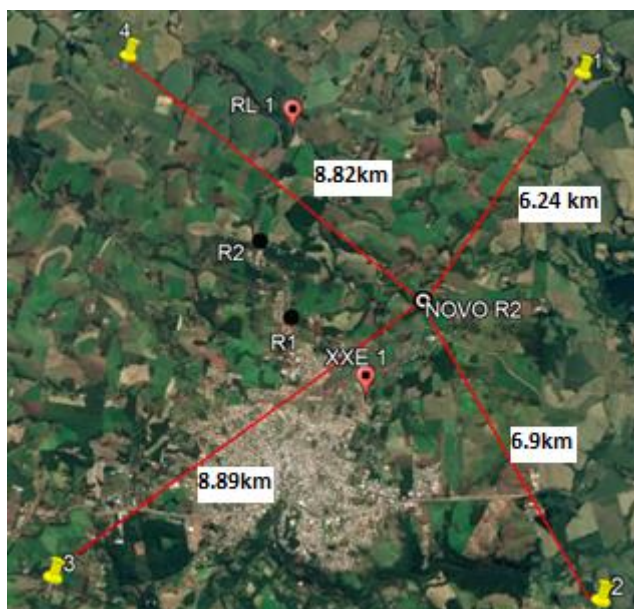
Aparelho Elétrico	Tensão Nominal (Vcc)	Corrente Nominal (A)	Potência (W)	Tempo de Utilização (h/dia)	Energia (Wh/dia)
Rádio SpeedNet 900MHz	12	0,58	6,96	24	167,04
Cooler de Refrigeração 1	12	0,15	1,8	24	43,2
Cooler de Refrigeração 2	12	0,15	1,8	24	43,2
Controlador de Carga	12	0,02	0,24	24	5,76
Iluminação (Fita de Led)	12	0,06	0,72	0,5	0,36
Total					259,56

Fonte: Autoria própria.

A estimativa de curva de carga não é aplicada neste projeto, pois o consumo dos principais componentes é praticamente constante durante todo o dia.

3.4.3 Níveis de Radiação

Utilizando o Google Earth como ferramenta para medição de distância entre R2 e os pontos de referência do Atlas Brasileiro de Energia Solar, figura 26, determinou-se que o ponto de referência de dados será o 1, devido a maior proximidade.

Figura 25 – Análise de distâncias entre R2 e pontos de referência.

Fonte: Autoria própria.

Com base no ATLAS (2017) obtemos os dados de radiação referentes a posição do ponto de referência do novo R2, descritos na tabela 6.

Tabela 6 – Dados de radiação do ponto de referência do novo R2.

LON	LAT	Média Anual	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
-53,349	-26,8005	4623	6263	5615	5077	4112	3198	2720	2994	3903	4093	5094	6102	6309

Fonte: Autoria própria.

Para o dimensionamento do painel fotovoltaico foi utilizado o método do mês crítico (CRESESB, 2016). Que consiste na realização do dimensionamento do SFVI favorecendo os períodos no qual ocorrem os menores índices de irradiação. Utilizando o RADIASOL e os dados da tabela 6, obteve-se as irradiações incidentes, tabela 7, para as inclinações 20°, 30°, 38°, 39°, 40°, 50° e 55°.

Tabela 7 – Irradiação (Wh/m²) incidente em diferentes inclinações.

GRAU DE INCL.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
20	6140	5658	5342	4536	3648	3170	3494	4438	4350	5218	6034	6140	4847
30	5894	5526	5320	4622	3778	3304	3648	4582	4360	5136	5826	5876	4823
38	5622	5346	5226	4624	3828	3366	3716	4630	4312	5006	5582	5590	4737
39	5584	5320	5208	4622	3830	3368	3716	4630	4302	4984	5546	5548	4722
40	5544	5294	5194	4616	3832	3374	3724	4630	4290	4960	5510	5508	4706
50	5102	4960	4966	4514	3806	3372	3722	4576	4146	4696	5094	5054	4501
55	4854	4762	4814	4432	3764	3348	3692	4516	4042	4532	4858	4798	4368

Fonte: Autoria própria.

Dentre os dados analisadas, a que melhor atende o mês crítico, é a inclinação de 40°.

3.4.4 Dimensionamento dos componentes e Projeto

Para um SFVI na nova localização de R2, a inclinação dos módulos que melhor atende ao método do mês crítico é de 40°. Utilizando a equação (1), considerando o fator de carregamento igual a 1,1 e o rendimento do conjunto de 75%, o valor calculado da potência do painel é de no mínimo 112,83 Wp.

Para o banco de baterias, faz-se uso do roteiro da NBR 14298, supondo a tensão de operação 12V, autonomia para 24 horas, regime C₂₀, profundidade de descarga máxima 50%, profundidade de descarga diária máxima de 20%, temperatura de operação estimada em 25°C e fator de segurança 10%, chega-se aos seguintes valores para o consumo diário de 259,56 Wh/dia, descritos na tabela 8.

Para determinar o modelo dos cabos de conexão, utiliza-se a equação (2) (URBANETZ, 2017). Considerando o comprimento do condutor em 5 metros e a queda de tensão admitida em 5%, o valor da área da seção transversal do condutor mínima é de 3,7mm².

Tabela 8 – Capacidade do banco de baterias.

21,6	Consumo em Ah/dia
21,6	Capacidade preliminar não ajustada
43,3	Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga - (50%)
108,2	Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga diária - (20%)
108,2	Capacidade ajustada em função da profundidade de descarga
119,0	Capacidade ajustada em função do fator de segurança (Ah) - (10%)

Fonte: Autoria própria.

Com base nas informações calculadas, é possível determinar o modelo do módulo fotovoltaico, do controlador de carga, das baterias e dos cabos de conexão.

$$S_{cond} = \left(\frac{2.L.P.0,0178}{V^2.\Delta V} \right).100 = \left(\frac{2.L.I.0,0178}{V.\Delta V} \right).100 \quad (2)$$

Onde:

S_{cond} = é a área da seção transversal do condutor em (mm²) (Wp)

P = potência do painel fotovoltaico (Wp)

L = comprimento do condutor CC (m)

V = tensão do barramento CC (V)

ΔV = queda de tensão admitida (%)

I = corrente total (A)

O painel FV que apresentou melhores características técnicas e econômicas para a viabilização da solução possui potência de 150 Wp. Este painel é homologado de acordo com INMETRO (2017). Algumas de suas características técnicas, nas condições STC, de acordo com o fabricante:

$$V_m (V) = 18,3$$

$$I_m (A) = 8,20$$

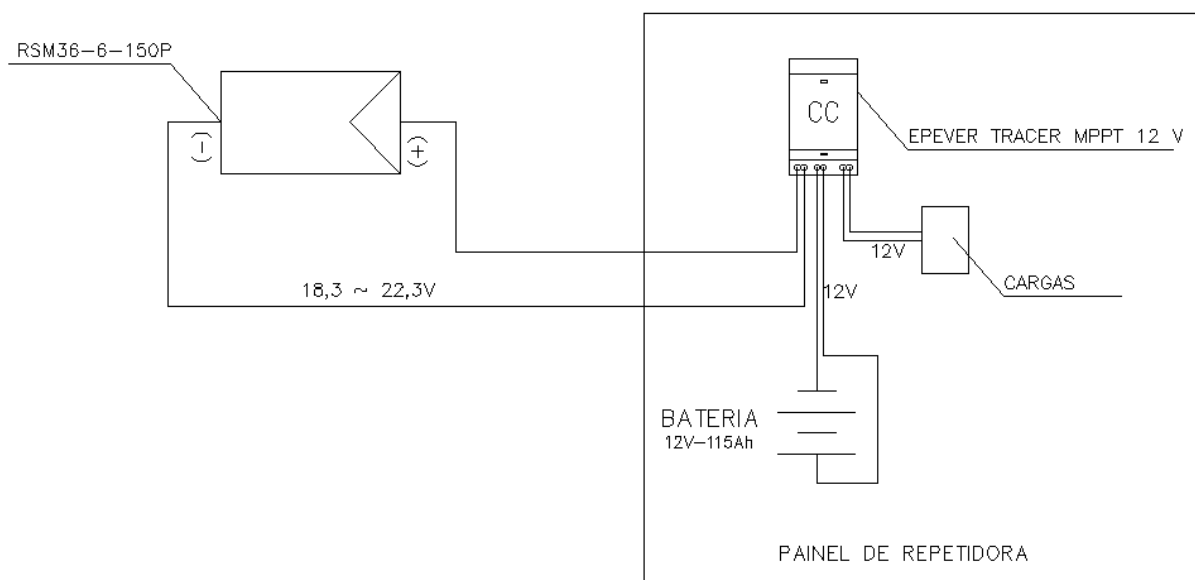
$$V_{oc}(V) = 22,3$$

$$I_{sc}(A) = 8,81$$

O modelo de bateria estacionária selecionada possui as seguintes características: capacidade de 115Ah para descarga em 24h a (c20), tensão nominal de 12v. Para a conexão das baterias com o controlador de carga e o painel fotovoltaico, será utilizado um cabo flex de 4mm².

O modelo do controlador de carga selecionado possui tensão de saída e de entrada de 12 à 24v, 40A e possui tecnologia de Ponto de Rastreamento de Máxima Potência alcançando eficiência superior a 95%. O controlador de carga possui 3 pares de terminais, 1 para conexão com os módulos fotovoltaicos, 1 para conexão com o banco de baterias e 1 para as cargas. O diagrama de conexões entre esses componentes é ilustrado na figura 26.

Figura 26 – Diagrama de conexões do SFVI.



Fonte: Autoria própria.

Com as alterações propostas no projeto, podemos considerar a nova lista de materiais de acordo com a tabela 9.

Verifica-se que a nova lista de materiais não temos o carregador de baterias CA-CC e o transformador monofásico de potência, isso porque, o sistema não está

conectado à rede de corrente alternada. Porém alguns itens foram adicionados, como o suporte do módulo FV, o painel FV e um disjuntor CC que servirá para desconectar o PFV em caso de manutenção.

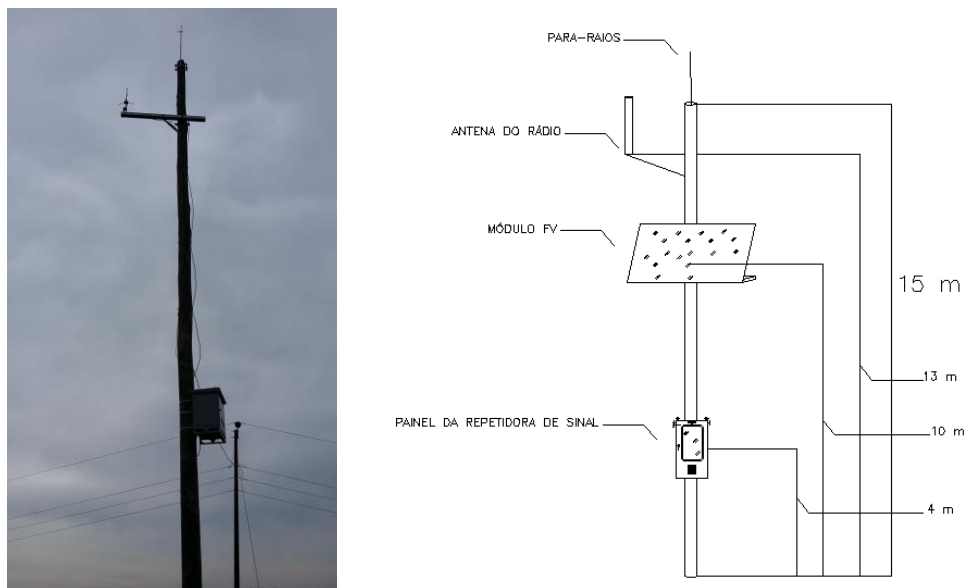
A instalação do módulo FV pode ter as seguintes configurações: instalada diretamente ao poste da repetidora ou ao nível do solo, figura 27 e 28, respectivamente. A opção ideal seria instalar ao nível do solo, pois evita o sombreamento do poste no módulo FV, melhorando assim sua performance, porém vai depender da disponibilidade de local para a instalação, do tipo de plantação que há no local e se há criação de animais que possam inviabilizar a instalação ao nível do solo.

Tabela 9 – Lista de materiais utilizando o SFVI.

ID	Descrição do Componente	Qtd	Preço (Reais)
1	Radio SpeedNet 900 MHz	1	10000,00
2	Cabo Coaxial TNC-Tipo N - RG59	0,5	50,00
3	DPS classe I, para aplicações de radiofrequência/ telecomunicações	1	350,00
4	Cabo Coaxial Tipo N -Tipo N - RGC 213	10	150,00
5	Suporte para antena - Galvanizado	1	300,00
6	Antena omndirecional 900 MHz	1	950,00
7	Painel da repetidora	1	1500,00
8	Suporte para o Painel da Repetidora	1	350,00
9	Bateria Estacionária 12v 115Ah	1	912,00
10	Suporte para módulo fotovoltaico para poste	1	800,00
11	Painel FV 150 Wp	1	628,50
12	Controlador de Carga MPPT 12/24V, 40A	1	844,50
13	Disjuntor CC bipolar 32A	1	100,00
14	Cabos e acessórios extras	1	300,00
		TOTAL	17235,00

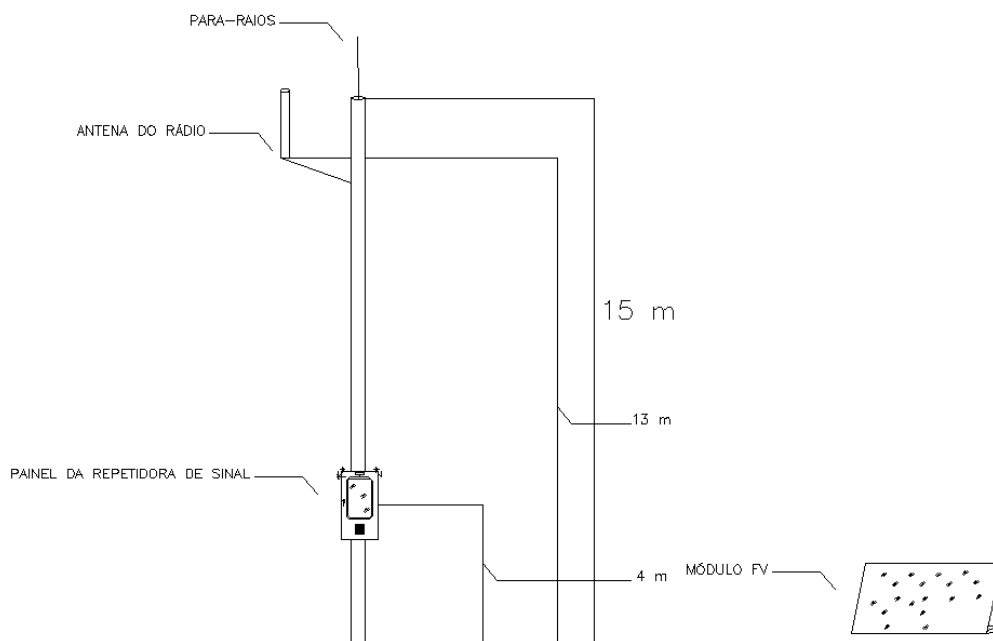
Fonte: Autoria própria.

Figura 27 – Foto do poste de repetidora instalado em campo e diagrama para instalação dos novos componentes do SFVI.



Fonte: Autoria própria.

Figura 28 –Diagrama para instalação dos novos componentes do SFVI, considerando o painel instalado a nível do solo.



Fonte: Autoria própria.

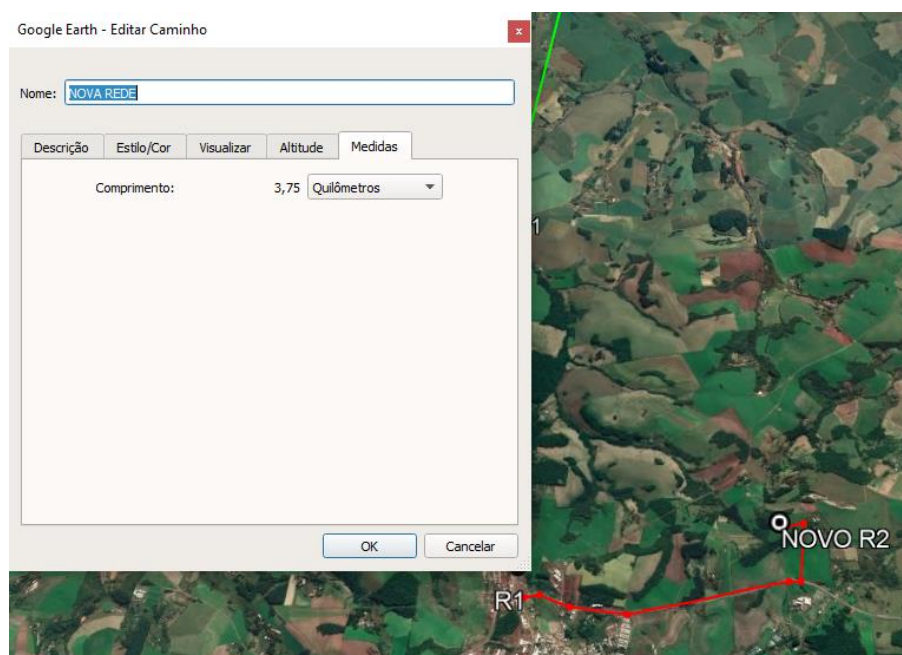
O poste utilizado é o de madeira, de tamanho variando entre 10-20 metros de altura, dessa forma as posições de instalação dos componentes das figuras 27 e 28 podem variar de acordo com o tamanho do poste.

3.5 CONSTRUÇÃO DE REDE AÉREA PARA R2

Nesta seção será apresentado um levantamento do custo para construção da infraestrutura de rede primária para R2, considerando o ponto onde a repetidora contorna as problemáticas de comunicação.

Utilizando o Google Earth, pode-se verificar que distância, entre o novo ponto para R2 e a rede de média tensão de concessão da concessionária local, é de aproximadamente 3,75km, figura 29. De acordo com VELASCO (2006), o valor em reais/km de uma rede aérea convencional primária com bitola 2 AWG é de 11.703,11 reais, sendo assim, o custo para a levar um ponto de alimentação exclusivamente para R2 custaria aproximadamente 43.886,66 reais, não levando em consideração os custos de desapropriação, caso haja necessidade.

Figura 29 – Distância entre ponto de alimentação e o novo ponto para R2.



Fonte: Autoria própria.

Na figura 29 foi escolhido preferencialmente o caminho que seguia a estrada para a construção da rede, pela facilidade de instalação e prováveis manutenções futuras da rede.

4 ANÁLISE DE DADOS

A seção de análise de dados pretende apresentar uma comparação técnica e econômica do projeto atual e da solução apresentada por essa monografia.

4.1 ANÁLISE ECONÔMICA

Como descrito no capítulo 3, o projeto atual apresenta uma adversidade no escopo técnico na infraestrutura de comunicação envolvendo R2 e seu reposicionamento seria uma das soluções. Como o novo ponto para R2 não possui acesso a alimentação em sua proximidade, foram apresentadas duas alternativas para sua alimentação, uma através de um SFVI e outra levando um ponto de rede secundária até seu local. Para verificar qual alternativa é mais viável economicamente, é feita a comparação dos custos levantados para as duas soluções, tabela 10.

Tabela 10 – Tabela de comparação dos custos para as duas soluções.

Custos	SFVI	Construção de Rede Aérea Convencional (Secundário)
Painel R2	R\$ 17.235,00	R\$ 16.512,00
Infraestrutura + Mão de Obra	R\$ 0,00	R\$ 43.886,66
CUSTO TOTAL	R\$ 17.235,00	R\$ 60.398,66

Fonte: Autoria própria.

Com base na tabela 10, a solução utilizando o SFVI é o mais viável financeiramente em comparação a construção de uma rede aérea convencional. Para o cálculo não foram considerados os custos de desapropriação e o custo considerando o tempo de implementação de cada solução.

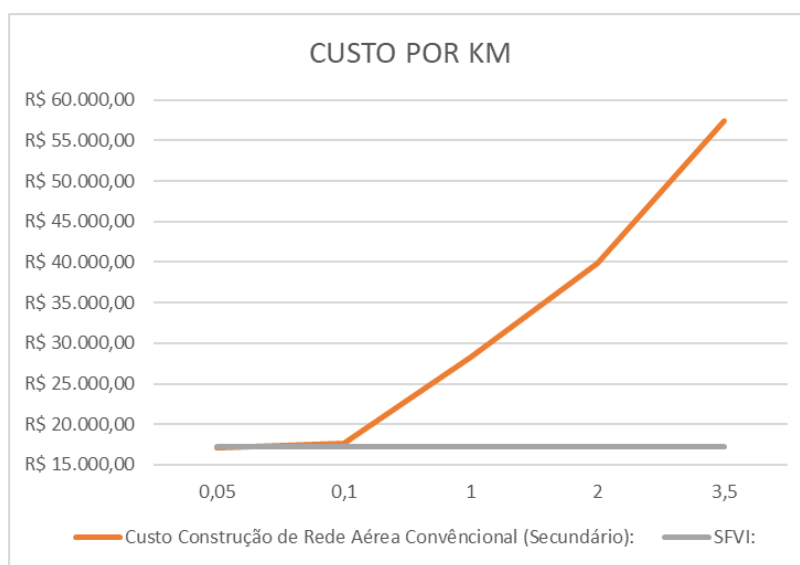
A construção da rede aérea convencional só é viável para distâncias menores que 617 metros, como pode-se verificar na tabela 10, figura 30 e figura 31.

Tabela 11 – Tabela de comparação dos custos para as duas soluções, considerando a variação por km.

Km:	0,05	0,1	1	2	3,5
Custo Construção de Rede Aérea Convencional (Secundário):	R\$ 17.097,16	R\$ 17.682,31	R\$ 28.215,11	R\$ 39.918,22	R\$ 57.472,89
Custo SFVI:	R\$ 17.235,00	R\$ 17.235,00	R\$ 17.235,00	R\$ 17.235,00	R\$ 17.235,00

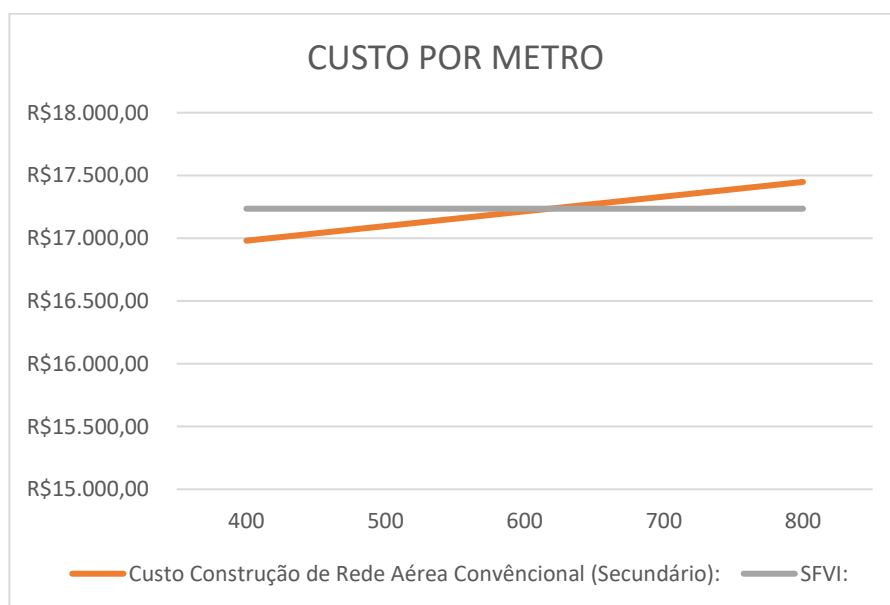
Fonte: Autoria própria.

Figura 30 – Variação do custo x km para as duas soluções.



Fonte: Autoria própria.

Figura 31 – Variação do custo x Distância (metros) para as duas soluções.



Fonte: Autoria própria.

Um custo que pode variar no SFVI seria no custo do banco de baterias. É possível que haja uma requisição da concessionária por uma bateria com maior capacidade, para aumentar a confiabilidade do sistema. Na tabela 12 há uma variação do custo de R2 considerando até 5 dias de autonomia.

Tabela 12 – Tabela do custo por autonomia do SFVI.

Autonomia dias:	1	2	3	4	5
Capacidade Ah					
Necessário calculado	119	119	142,8	190,3	237,9
Modelo e Capacidade	df200ah0-	df2000 –	df2500 –	df-3000 –	df-4001 –
- C-20	105Ah	115Ah	150Ah	170Ah	220Ah
CUSTO	R\$ 912,00	R\$ 912,00	R\$ 1.200,00	R\$ 1.350,00	R\$ 1.500,00
CUSTO R2	R\$ 17.235,00	R\$ 17.235,00	R\$ 17.523,00	R\$ 17.673,00	R\$ 17.823,00

Fonte: Autoria própria.

Como pode-se verificar a variação do valor é pequena em relação ao custo total do painel. Não foi considerado nesta análise o redimensionamento do painel para adequar os diferentes modelos de bateria.

4.2 ANÁLISE TÉCNICA

Esta seção tem como finalidade comparar o grau de complexidade técnica das soluções do reposicionamento de R2: alimentação utilizando SFVI e construção de rede aérea convencional. Para a análise foi criada uma lista de itens técnicos comuns levando em consideração pontos como: desenvolvimento do projeto, implementação, manutenção entre outros. Cada item foi analisado de acordo com seu grau de complexidade, com base em uma variável de peso técnico que pode receber os valores 5, 3 ou 1. Os valores 5, 3 e 1 representam grau de complexidade baixo, médio e alto respectivamente.

Para realizar a comparação após a análise, soma-se os itens de cada solução. A solução que apresentar maior índice de complexidade técnica será considerado o mais viável tecnicamente.

A tabela 13 apresenta a lista de itens técnicos analisadas de acordo com seu grau de complexidade técnica.

Tabela 13 – Tabela de comparação do grau de complexidade técnica.

Item Técnico	SFVI	Construção de Rede Aérea Convencional (Primário)
Tempo de desenvolvimento do projeto	baixo	baixo
Complexidade do projeto	baixo	médio
Tempo para compra e recebimento dos materiais necessários	médio	médio
Complexidade para compra e recebimento dos materiais necessários	médio	baixo
Tempo de implementação	baixo	alto
Complexidade de implementação	baixo	baixo
Frequência de manutenção	baixo	baixo
Possibilidade de indisponibilidade de alimentação	médio	baixo
Total	34	32

Legenda	Peso
Baixo	5
Médio	3
Alto	1

Fonte: Autoria própria.

O tempo e a complexidade do desenvolvimento do projeto deste SFVI são baixos, pois se trata de uma solução de pequeno porte com poucos elementos e não depende de aprovação de uma concessionária como nos casos de SFVCR. Já no caso da construção de rede aérea convencional a complexidade do projeto é média, pois a escolha do caminho para a construção da rede pode apresentar algumas variáveis a serem analisados, como: área de desapropriação, área de acesso para manutenção e outros. O tempo para o desenvolvimento do projeto é considerado baixo, pois uma vez determinada as informações do projeto, o seu desenvolvimento é rápido devido a experiência da concessionária.

O tempo e a complexidade para a compra e recebimento dos materiais são médios para o SFVI, pois tratam-se de componentes específicos e de fornecedores distintos. Já no caso da construção da rede ela é média para o tempo, por possuir componentes de grande porte, é possível que demande mais tempo. Para a complexidade o grau é baixo, por se tratar de componentes de compra frequente.

O tempo e a complexidade de implementação do SFVI é baixo, pois é uma estrutura de pequeno porte, com todos os componentes em mãos pode ser instalado e comissionado em um ou dois dias. A complexidade de implementação é baixa no caso da construção da nova rede, em consequência da experiência da concessionária. Entretanto o tempo de implementação é alto em virtude de um problema de logística. Pois o material sai da regional sede em Chapecó e deve percorrer cerca de 50 km em uma rodovia de pista única em sua grande extensão, com grande fluxo de caminhões e carros. Além disso, o serviço em si demanda tempo para ser executado com segurança e precisão.

Em relação a manutenção, tanto o SFVI quanto a construção de rede aérea são consideradas de baixa manutenção.

A possibilidade de indisponibilidade de alimentação é considerada médio para o SFVI e a construção de rede aérea é baixo. Como a maioria das falhas em redes aéreas são consideradas temporárias (CHUEIRL,1996), mesmo no caso de faltas permanentes o banco de baterias foi dimensionado para aguentar por no mínimo um dia sem alimentação CA. Já no caso do SFVI, um período extenso de dias com baixa irradiação do sol, podem tornar o sistema indisponível, principalmente nos períodos noturnos.

4.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES

De acordo com os dados obtidos da análise econômica e técnica das duas soluções apresentadas neste trabalho, pode-se afirmar que a utilização do SFVI é a mais apropriada. As duas alternativas são viáveis e resolvem a adversidade da infraestrutura de comunicação. Fazendo uma comparação da infraestrutura de comunicação atual e com o reposicionamento de R2, tabela 14, é possível verificar a uma melhora significativamente nos enlaces entre seus vizinhos. A comunicação teve melhora com XXE 1 e R3, de -11dBm para ambos os casos, no caso de RL1, houve decréscimo de -5dBm, porém dentro da faixa permitida pelo escopo de -85dBm. Já entre R2-RL2 o enlace é de -79dBm, anteriormente os níveis eram inferiores a -99dBm o que impossibilitava a comunicação entres os dois rádios. O novo enlace entre R2-RL2 possibilitou a criação de duas novas rotas entre RL1 e RL2, atendendo assim o requisito de pelo menos duas rotas entre cada membro de um time.

Tabela 14 – Tabela do custo por autonomia do SFVI.

Enlaces	Sistema de Com. Atual (dBm)	Sist. Com a nova posição de R2 (dBm)
XXE 1 - R2	-86	-75
R2 - RL1	-65	-70
R2 - R3	-87	-76
R2 - RL3	-99	-79

Legenda

	Dentro do nível de sinal aceitável
	Fora do nível de sinal aceitável
	Sem comunicação

Fonte: Autoria própria.

Analisando as informações sobre a problemática, conclui-se que o ponto atual de R2 não atende tecnicamente o escopo do projeto. Em um estudo de rádio realizado em campo foi encontrado um ponto para instalação de R2 com a possibilidade de enlaces com níveis de sinal dentro dos limites entre XXE1, RL1, RL2 e R3, figura 24. Porém, este local encontra-se distante em aproximadamente 3,75 km, de um ponto de conexão à rede de concessão da concessionária. Levando a análise de duas possíveis soluções que são apresentadas nesta monografia.

Economicamente, o SFVI é mais viável em distâncias maiores que 617 metros. Mesmo considerando a menor distância entre o ponto de alimentação e a nova posição de R2 (reta entre os dois pontos), a distância é de 2,7 km.

Tecnicamente, de acordo com os dados obtidos, a diferença encontrada entre as duas soluções foi pequena. Entretanto, a implementação de um SFVI é considerada mais praticável, apresentando algumas vantagens em comparação a construção de uma nova rede aérea.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo será apresentado a conclusão da monografia, as dificuldades encontradas e as propostas para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÃO

Tomando em consideração o objetivo geral do trabalho, pode-se afirmar que ele foi atingido. Neste trabalho foi apresentado uma solução viável de um SFVI para uma infraestrutura de comunicação, aplicada em um sistema de reconfiguração automática. Dos problemas específicos, primeiramente foram expostos a transcrição de referências bibliográficas relacionadas ao trabalho: sistemas fotovoltaicos, redes inteligentes e infraestrutura de comunicação a rádio. Na sequência, é apresentado o estudo de caso e apontado a problemática do rádio repetidora R2, que resultou na pesquisa de possíveis soluções para o problema. Dentre as soluções, estava a de alimentação via um SFVI e outra através da construção de uma rede aérea até o novo ponto sondado. Por fim, é feito uma análise quantitativa e técnica das duas soluções e apresentado os resultados.

Durante a preparação da monografia foram encontradas algumas dificuldades que impediram uma maior riqueza de detalhes do projeto, porém não inferiram no resultado desta monografia. Dentre as dificuldades encontradas estão: a não autorização da divulgação de algumas informações por parte de algumas empresas, e o tempo para a obtenção da cotação de custos de alguns materiais. Para contornar a adversidade de auferir os dados de valores dos materiais, foi realizado uma pesquisa de cada item na internet, de fontes distintas, com a finalidade de alcançar o valor mais próximo do aplicado no mercado. Em cima do valor pesquisado, foi adicionado 50%, simulando assim o valor de impostos e frete. Em relação as informações que não foram autorizadas a divulgação, respeitaram-se a vontade dos fabricantes. Em alguns casos, fez-se o uso de uma nomenclatura genérica ou não houve a citação o nome do fabricante e do produto.

Este trabalho utiliza como base estimativas de custos obtidos durante o período da pesquisa, de junho a agosto de 2018. Para a utilização dessas informações

como referência para trabalhos futuros, se faz necessário a atualização dos custos citados.

Com base nos dados analisados a utilização do SFVI é a solução mais viável economicamente no caso em que a distância entre a repetidora de sinal e o ponto de alimentação for superior a 617 metros. Além disso, o SFVI apresentou melhor resultado no estudo técnico. Concluindo, com base nos dados obtidos da análise econômica e técnica apresentadas neste trabalho, que a utilização do SFVI é a mais apropriada para atender o escopo da infraestrutura de comunicação pré-determinada no projeto de reconfiguração automática de rede desenvolvida na região oeste de Santa Catarina.

5.2 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Como explicado nesse trabalho, as redes inteligentes e tecnologias de informação caminham juntas, e considerando o crescimento deste nicho de mercado nos próximos anos, a necessidade de soluções para infraestruturas de comunicações localizadas em regiões remotas irá acompanhar essa expansão. Considerando os sistemas de reconfiguração automática, quando há uma falha em um segmento de rede, e neste trecho possuem repetidoras de sinal alimentadas pelo mesmo segmento desenergizado. Existe a possibilidade dessas repetidoras pararem de operar por falta de alimentação após o término da carga de suas baterias, ocasionando uma possível perda de comunicação em parte da infraestrutura de rede. Sendo assim, uma das propostas seria apresentar uma infraestrutura de comunicação totalmente independente da alimentação da rede elétrica, além de contornar o problema citado anteriormente a o projeto da infraestrutura de comunicação poderá ter maior independência na escolha das melhores posições para os equipamentos de comunicação.

Infraestruturas de comunicação que utilizam sistemas de rádio não se limitam apenas para aplicação em redes inteligentes, dessa forma diversas outras aplicações poderiam ser exploradas, como em sistemas de monitoramento de gasodutos e sistemas de bombeamento de água, que normalmente atravessam regiões remotas entre outros.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 10899 – Energia solar fotovoltaica - Terminologia**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira, 2013.

ABNT. **NBR 14298 – Sistemas Fotovoltaicos – Banco de Baterias – Dimensionamento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira, 1999.

ANATEL. **Portaria nº 419, de 24 de maio de 2013**. Delega competências para aprovar procedimentos, requisitos técnicos, especificações ou acordos técnicos para operacionalizar a certificação de produtos e sistemas, conforme a regulamentação em vigor. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/portarias-de-delegacao/461-portaria-419>>. Acesso em junho de 2018.

BOVOLATO, M. C. **Micro Redes.pdf**. Out, 2013, p. 12. Notas de Aula.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Redes elétricas Inteligentes: contexto nacional**. Brasília, 2012. Disponível em: <www.cgee.org.br>. Acesso em junho de 2018.

CHUEIRL. I.J; PEREIRA. J.A; MACEDO. J. **Registrador de Faltas Momentâneas em Linhas de Distribuição**. 1996. LACTEC – PUC-PR. 6 p. Disponível em: <<http://www.iberchip.net/VII/cdnav/pdf/25.pdf>>.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>.

FALCÃO, D.M. **Smart Grid e Microrredes: O Futuro já é Presente**. Anais do VIII SIMPASE, Rio de Janeiro RJ, 9 -14 Agosto de 2009.

FALCÃO, D.M. **Integração de tecnologias para viabilização da Smart Grid**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 3. (SBEE 2010), Belém, 2010. p. 1-5.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

INMETRO. **TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA - MÓDULOS - Edição 2017**. 2017. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf>

ITSG – S&C ELECTRIC COMPANY. **IntelliTeam® SG Automatic Restoration System : Descriptive Bulletin 1044-34**. 8p. Nov, 2017.

MEDEIROS, J. C. O. **Princípios de Telecomunicações: teoria e prática**. 2º ed. São Paulo: Érica, 2007.

MACHADO, L.; MONTEIRO, D. **Gateway Mesh-RSSF: Sistema de Comunicação Entre Redes de Sensores Sem Fio e Redes Mesh**. 2011. 6 p. Artigo da Faculdade de Computação Universidade Federal do Pará – UFPA, Pará, 2011.

PRAMIO, J. T. ESTUDO SOBRE SELF HEALING: **Conceitos, Metodologias e Aplicações em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 2017. 95 p. Monografia do Curso de Especialização em Automação Industrial – UTFPR, PR, 2017.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos, 2017.

PFITSCHER, L. L. **Reconfiguração Automática das Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Monitoramento em Tempo Real**. 2013. 146 p. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica – UFSM – RS, 2013.

REALSOLAR. **Energia Solar**. 2018. Disponível em: <<http://www.real-solar.com/como-funciona>>. Acesso em junho de 2018.

SANSHERS, C. A. **Projetando redes Wlan: Conceitos e práticas**. 1ºEd, São Paulo: Érica, 2005.

SOLARVOLT. **Entenda as diferenças entre o sistema isolado e conectado à rede**. Disponível em: <<http://www.solarvoltenergia.com.br/sistema-fotovoltaico-isolado-ou-conectado/>>. Acesso em agosto 2018.

SOUZA, R. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica**. Jardim América/ Ribeirão Preto - SP: BlueSol Energia Solar. 2016 (Livro Digital).

SN – S&C ELECTRIC COMPANY. **S&C SpeedNet™ Radios: Descriptive Bulletin 1072-30**. 8p. Jun, 2014.

TEIXEIRA, E. R. D. **Wireless Mesh Networks**. 2004. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialwmn.pdf>>.

TELECO. **Tutoriais Banda Larga**. 2018. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifimanaus1/pagina_3.asp>. Acesso em junho de 2018.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010. 189 p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis – SC, 2010.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **ANEXO 1 e 2_Dimens_SFVI e SFVCR_julho2017.pdf**. Jul, 2017, p. 11. Material de aula.

UNESP. **Sistema de Distribuição**. 2018. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/apostila_sdee_01.pdf>. Acesso em agosto de 2018.

VELASCO, G. D. N.; LIMA, A. M. L. P.; COUTO, H. T. Z. **Análise comparativa dos custos de diferentes redes de distribuição de energia elétrica no contexto da arborização urbana.** Viçosa, v.30, n.4, p.679-686. 2006.