



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica

JOÃO VICTOR DA SILVA SOBRAL FURTADO

CHAVEAMENTO AUTOMÁTICO PARA CONTROLE DE
TRANSFERÊNCIA DE FONTES E CARGAS EM UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO HÍBRIDO

Campina Grande
Agosto de 2018

JOÃO VICTOR DA SILVA SOBRAL FURTADO

CHAVEAMENTO AUTOMÁTICO PARA CONTROLE DE
TRANSFERÊNCIA DE FONTES E CARGAS EM UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO HÍBRIDO

Trabalho de conclusão de curso submetido a coordenação do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciências no domínio da Engenharia Elétrica.

Orientador.

Professor Edmar Candeia Gurjão, D. Sc.

Campina Grande
Agosto de 2018

JOÃO VICTOR DA SILVA SOBRAL FURTADO

CHAVEAMENTO AUTOMÁTICO PARA CONTROLE DE
TRANSFERÊNCIA DE FONTES E CARGAS EM UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO HÍBRIDO

Trabalho de conclusão de curso submetido a coordenação do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciências no domínio da Engenharia Elétrica

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande

Avaliador

Professor Edmar Candeia Gurjão, D. Sc.

Universidade Federal de Campina Grande

Orientador

Campina Grande
Agosto de 2018

Dedico este trabalho aos meus pais, Marco Aurelio e Marluce Margareth, à meus irmãos, Arthur Felipe e Gabriel Vinicius, à todos os familiares e amigos que estiveram presentes durante esta caminhada e etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Marco Aurélio e Marluce Margareth, por mesmo distante durante esta caminhada terem me dado todo o apoio necessário e possível para eu ter chegado até aqui, me apoiando em todas as decisões e quando possível mesmo com todas obrigações conseguiram algum tempo para me visitar.

Agradeço à meu irmão Arhtur Felipe, por ter morado comigo durante 5 anos desta caminhada e sendo o apoio familiar mais próximo para os momentos de dificuldades e agradeço também à meu irmão Gabriel Vinicius, por todo o apoio e carinho que sempre demonstrou por mim.

Agradeço a meus familiares, pois com toda distancia sempre demonstraram se importar comigo seja com ligações ou procurando saber através dos meus pais como eu estava.

Agradeço aos meus amigos que fiz durante esta caminhada, pessoas essenciais em vários momentos sejam eles de estudo, diversão e descontração, todos eles formando um conjunto essencial para prosseguimento durante os anos de curso.

Aos professores que tive durante o curso, por todo o ensinamento que foi passado e ao professor Edmar Candeia Gurjão por ter aceitado ser meu orientador neste trabalho, pelas sugestões e ensinamentos tanto pessoais quanto profissionais.

A Deus por ter me dado saúde, proteção e bênçãos para percorrer este caminho sem nada de ruim ter acontecido.

RESUMO

Hoje são muitas as possibilidades de geração local de energia elétrica, de forma a complementar ou reduzir a dependência dos consumidores em relação à rede elétrica da concessionária. Já existem hoje sistemas capazes de gerar a própria energia, armazenar o excedente em banco de baterias e ainda injetar na rede para recebimento de créditos na conta de energia. Visando promover uma melhor gerência de tais sistemas no sentido de maximizar o uso da energia gerada localmente, pode-se agregar um sistema inteligente que irá controlar, os momentos em que as diferentes fontes irão fornecer energia as cargas baseado na disponibilidade de energia, trazendo assim uma maior autonomia do sistema e uma consequente melhoria do aproveitamento da geração local. Neste trabalho propõe-se o chaveamento automático para controle de transferência de fontes e cargas em um sistema fotovoltaico híbrido, utilizando de simulações computacionais realizadas no ambiente do Simulink®/Matlab®, para verificar a resposta dinâmica do sistema ao chaveamento, havendo também a utilização do software CADeSIMU® para realizar o projeto do circuito de força e de comando que irá atuar na comutação das chaves de transferência das fontes e das cargas. Os resultados obtidos mostram que é possível maximizar a utilização das fontes de energia mantendo a continuidade do fornecimento.

Palavras-chave: Chaveamento automático, sistema fotovoltaico híbrido, sistema inteligente, chaves de transferência, geração local.

ABSTRACT

Actually, there exist many possibilities for local energy generation to complement or reduce the consumer dependence on the electricity grid of the power utility. There exist generating systems capable of to store the surplus in battery banks and to inject into the utility network for future receipt of credits in the energy bill. Aiming to promote better management of such systems to maximize the use of locally generated energy, an intelligent system based on the availability of energy can be added to control, the instants in which the different sources will supply the loads, thus bringing a greater autonomy over the system and a consequently improving the local generation. This work propose a design of an automatic switching to control the transfer of sources and loads in a hybrid photovoltaic system, using computational simulations in Simulink® / Matlab® environment, to verify the dynamic response of the system to the switching and the CADeSIMU® software to design the power and control circuit that will act in the switching of the source and load transfer switches.

Keywords: Transfer Switch, local generation, automatic switching, hybrid photovoltaic system, intelligent system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Gerência Inteligente do Consumo de Energia UFCG.....	14
Figura 2: Esquema de um sistema de geração distribuída.....	17
Figura 3: Funções do sistema de transferência de carga.....	21
Figura 4: Diagrama elétrico de contadores com intertravamento mecânico.....	22
Figura 5: Transferência de carga em transição fechada em rampa.....	23
Figura 6: Aplicação das chaves de transferência.....	26
Figura 7: Diagrama de blocos do sistema fotovoltaico híbrido com chaves de transferência.....	27
Figura 8: Diagrama de blocos do circuito controlador.....	29
Figura 9: Projeto elétrico do sistema fotovoltaico híbrido.....	32
Figura 10: Diagrama de blocos do modelo usado na simulação do ambiente Simulink.....	34
Figura 11: Bloco representativo da rede elétrica da concessionária.....	35
Figura 12: Bloco representativo transformador de atendimento.....	36
Figura 13: Bloco representativo baterias.....	37
Figura 14: Bloco representativo dos painéis solares.....	37
Figura 15: Bloco representativo conversor CC/CC bidirecional.....	38
Figura 16: Bloco representativo conversor CC/CC.	39
Figura 17: Bloco representativo do barramento CC.	40
Figura 18: Bloco representativo do inversor CC/CA bidirecional.....	40
Figura 19: Bloco representativo das cargas.....	41
Figura 20: Bloco representativo do controle, lógica e gráficos das cargas e fontes.....	42
Figura 21: Sinais de controle para acionamento das cargas 1, carga 2 e carga 3.....	43
Figura 22: Sinais de controle para acionamentos das fontes de potências (Rede e Bateria).	43
Figura 23: Potência na carga 1 (W).	44
Figura 24: Potência na carga 2 (W).	44
Figura 25: Potência na carga 3 (W).	45
Figura 26: Potência de saída dos painéis fotovoltaicos (W).....	45
Figura 27: Potência na rede (W).	46
Figura 28: Potência na bateria (W).	46
Figura 29: Tensão no enrolamento primário do transformador da rede (V).....	46
Figura 30: Corrente no enrolamento primário do transformador da rede (A).	47
Figura 31: Tensão no enrolamento secundário do transformador da rede (V).	47
Figura 32: Corrente no enrolamento secundário do transformador da rede (A).	47

Figura 33: Tensão de saída dos painéis solares (V).	48
Figura 34: Corrente de saída dos painéis solares (A).	48
Figura 35: Estado de carga - SOC (%).	49
Figura 36: Corrente da bateria (A).	49
Figura 37: Tensão da bateria (V).	49
Figura 38: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido.	50
Figura 39: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Energização e presença da rede pública).	52
Figura 40: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Energização do circuito das cargas essenciais).	53
Figura 41: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Acionamento do SFV On Grid - Período de incidência solar).	54
Figura 42: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Desacionamento do SFV <i>On Grid</i> - Período de falta de incidência solar).	54
Figura 43: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Falta de rede e atuação do SFV <i>On Grid</i> - Período de incidência solar).	56
Figura 44: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Falta de rede, atuação do SFV <i>On Grid</i> e SFV <i>Off Grid</i>).	56
Figura 45: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Falta de rede, desativação do SFV <i>On Grid</i> e atuação do SFV <i>Off Grid</i>).	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico Digital
ATS	<i>Automatic Transfer Switch</i> (Chave automática de transferência)
CC	Tensão/Corrente Contínua
CA	Tensão/Corrente Alternada
CI	Circuito integrado
CLP	Controlador Lógico Programável
DSP	Processador Digital de Sinais (do inglês, <i>Digital Signal Processor</i>)
GD	Geração Distribuída
MPPT	Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (do inglês, <i>Maximum Power Point Tracking</i>)
PCH's	Pequenas Centrais Hidrelétricas
QTA	Quadro de Transferência Automática
SOC	<i>State Of Charge</i> – Estado da Carga
SFV	Sistema Fotovoltaico
SCR	Silicon Controlled Rectifier
TRIAC	Triode for Alternating Current
TC	Transformador de corrente
TP	Transformador de potencial
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Objetivos.....	15
1.2	Objetivos gerais	15
1.3	Objetivos específicos	15
1.4	Estrutura do Trabalho.....	15
2	Fundamentação Teórica	16
2.1	Geração distribuída.....	16
2.2	Eficiência energética	17
2.3	Sistemas fotovoltaicos Off Grid	18
2.4	Sistemas fotovoltaicos On Grid.....	18
2.5	Sistema fotovoltaico híbrido	19
2.6	Transferência de fontes e cargas elétricas.....	20
2.7	Transferência automática	21
2.8	Transição aberta	22
2.9	Transição fechada.....	23
2.10	Tipos de chaves para transferência	24
3	O Sistema Proposto	26
3.1	Descrição dos componentes e suas funções.....	27
3.2	Comutação das chaves e modos de operação	30
3.3	Configuração elétrica do sistema.....	32
4	Simulações e Resultados.....	33
4.1	Sistema modelado no ambiente simulink.....	33
4.1.1	Bloco rede da concessionária	34
4.1.2	Bloco transformador abaixador 13,8kv/220v	35
4.1.3	Bloco baterias.....	36
4.1.4	Bloco painéis solares	37
4.1.5	Bloco conversor cc/cc bidirecional.....	38
4.1.6	Bloco conversor cc/cc	38
4.1.7	Bloco barramento cc.....	39
4.1.8	Bloco inversor CC/CA bidirecional.....	40

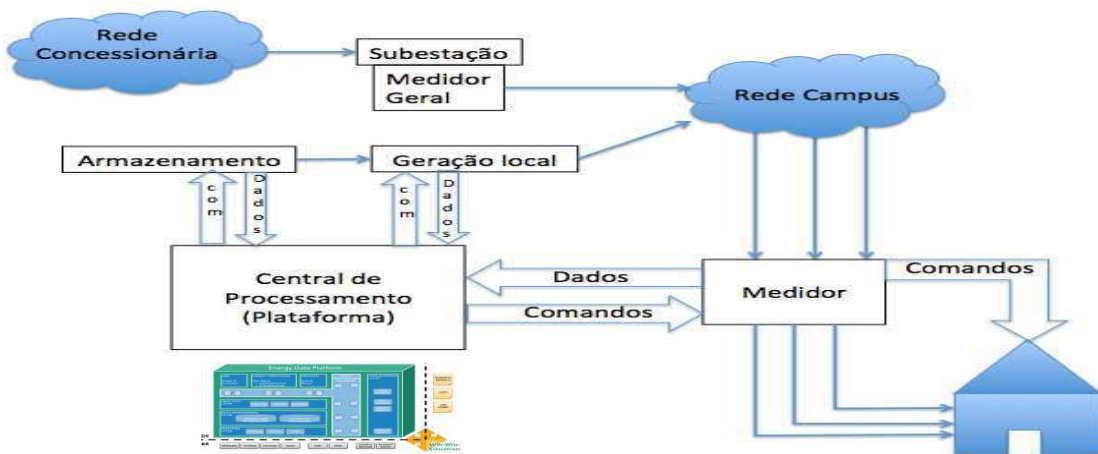
4.1.19	Bloco carga	41
4.1.10	Bloco controle, lógica e gráficos	41
4.1.11	Resultados das simulações no ambiente simulink	42
4.2	Circuito de força(potência) e comando.....	49
4.2.1	Rede + SFV On Grid	53
4.2.2	SFV On Grid + Off Grid.....	54
5	Conclusão.....	58
	Referências.....	59

1 INTRODUÇÃO

Está sendo desenvolvido na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, um projeto que visa melhorar a gerência do consumo de energia elétrica, de tal forma que seja possível acompanhar em tempo real os padrões de consumo de cada prédio e com isso possam ser tomadas decisões a fim de reduzir os gastos com a energia elétrica provida pela concessionária.

O projeto já se encontra em andamento e no momento está passando pela etapa de instalação dos medidores inteligentes, que são os responsáveis por medir a potência ativa, potência reativa e fator de potência e transmitir via Internet para um servidor central, permitindo que se conheça o padrão de cada prédio. Existem etapas futuras que compõem este projeto (Na Figura 1 é apresentado um esquema do projeto), uma delas é a de geração local, a qual contempla o enfoque deste trabalho.

Figura 1: Gerência Inteligente do Consumo de Energia na UFCG



No que diz respeito a geração local, a proposta é da implantação de um sistema híbrido de energia composto pela rede da concessionária, painéis solares e baterias, o qual será composto por um sistema automatizado de chaveamento controlado, para realizar a transferência entre estas fontes, assim como para a seletividade de cargas prioritárias a serem atendidas, no caso de uma falta de energia por exemplo.

Todo esse sistema visa prover uma maior autonomia e controle sob a utilização e geração de energia, visando ter uma maior eficiência energética, pois tendo este controle será

possível tomar decisões para definir em que momento é mais propício utilizar a energia provida pelos painéis solares e as baterias, visando reduzir a dependência da energia produzida pela concessionária e também promover um melhor controle sob as cargas e suas respectivas demandas, de tal forma que o processo de chaveamento seja realizado de forma prática e o mais efetivo possível.

1.1 OBJETIVOS

1.2 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver um sistema automatizado de chaveamento controlado, que irá atuar no funcionamento de um sistema híbrido fotovoltaico (rede, solar e bateria), a fim de proporcionar um melhor controle sob a transferência entre as fontes componentes deste sistema e monitorar as cargas que estão sendo abastecidas, afim de selecionar aquelas que são prioritárias para receber o fornecimento, por exemplo em casos de a demanda ser maior do que a energia produzida.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar simulações para analisar o comportamento dinâmico do sistema verificando se o sistema responde ao chaveamento proposto.
2. Propor um projeto com os dispositivos necessários, as chaves e a parte de comando que irá atuar na comutação das chaves.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido da seguinte maneira: O Capítulo 1 é de caráter introdutório, contextualiza a problemática, assim como os objetivos a serem atingidos, o Capítulo 2 a fundamentação teórica para entendimento de conceitos envolvidos no trabalho, os quais visam trazer um melhor entendimento sobre do que se trata um sistema fotovoltaico híbrido e de que forma é possível realizar a transferência entre fontes e cargas, o Capítulo 3 trata do sistema proposto, mostrando todos os seus componentes e onde estão alocadas as

chaves de transferência, o Capítulo 5 as simulações e resultados que serão apresentados em formas de gráficos e diagramas elétricos e por fim o Capítulo 6 que traz a conclusão e possíveis formas do trabalho se implementado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Será feita revisão teórica sobre alguns temas que estão relacionados diretamente ao trabalho, são eles: transferência de fontes e cargas elétricas, sistemas fotovoltaicos e suas variações, eficiência energética e geração distribuída.

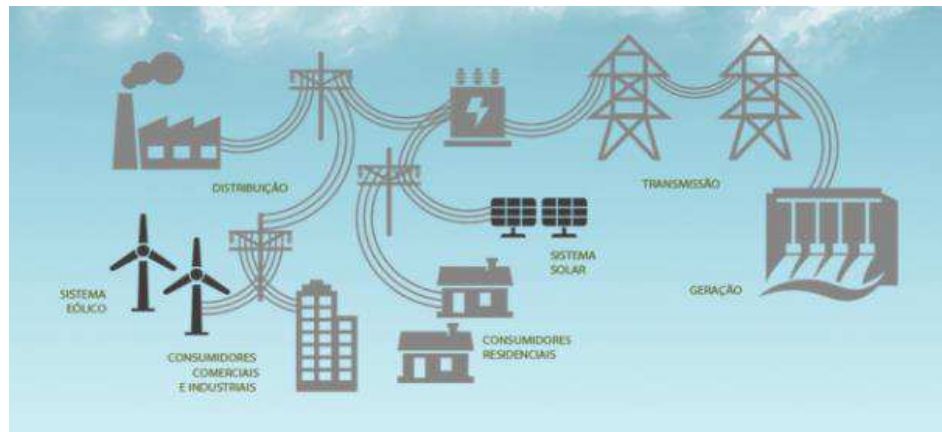
2.1 Geração Distribuída

Geração Distribuída (GD) é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima do consumidor independente da potência, tecnologia e fonte de energia. A GD inclui uma gama diferente de possibilidades em sua constituição, como por exemplo, cogeneradores, geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo, geradores de emergência, geradores para operação no horário de ponta, painéis fotovoltaicos e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's). [30]

Algo que está envolvido com o conceito de geração distribuída, é a utilização de equipamentos de controle, comando e medida, para realização de operações para um eventual controle de cargas (ligamento/desligamento), para que estas se adaptem à oferta de energia.

A geração distribuída tem como base o net metering, no qual o consumidor-gerador, após descontado o seu próprio consumo, recebe um crédito na sua conta pelo saldo positivo de energia gerada e inserida na rede (sistema de compensação de energia). Sempre que existir esse saldo positivo, o consumidor recebe um crédito em energia (em kWh) na próxima fatura e terá até um tempo predeterminado utilizá-lo. No entanto, não é possível comercializar o montante excedente da energia gerada por GD entre eles. A rede elétrica disponível é utilizada como backup quando a energia gerada localmente não é suficiente para satisfazer as necessidades de demanda do consumidor-gerador, o que geralmente é o caso para fontes intermitentes de energia, como a solar.[31]

Figura 2: Esquema de um sistema de geração distribuída



Fonte: <http://bravence.com.br/agenda-15-08-17-forum-de-geracao-distribuida-de-energia-fierngs-porto-alegre/>

2.2 Eficiência energética

A eficiência energética se trata da utilização racional de energia que consiste em usar de modo eficiente a mesma para se obter a redução de perdas e eliminação de desperdícios, ou seja, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização de tal forma a se buscar melhorar o uso das fontes de energia.

No que diz respeito as perdas as mesmas podem ser atenuadas através do emprego de materiais e métodos mais eficientes, já no quesito eliminação de desperdícios a redução é feita mediante educação e treinamento. A Eficiência Energética consiste na obtenção de melhorias, ou seja, na otimização da utilização das fontes de energia existentes, ou no uso da energia disponível, por meio de ações que busquem a conservação dos recursos não renováveis e melhor aproveitamento dos recursos renováveis.

Muitas ações podem ser tomadas a fim de se ter uma melhor eficiência energética podemos citar como exemplo a Geração Distribuída ou GD, que foi explanada anteriormente.

Outras medidas que podem ser tomadas além da citada acima são: Controle de demanda contratada, gerenciamento do consumo em tempo real, automação de sistemas para ligar/desligar cargas que não estão sendo uteis no momento, sistema para ligar gerador (sinal de horário de ponta), sistema automático de descarte/alívio de cargas evitando-se o pagamento indevido de multas por estouro da demanda, gestão do contrato de fornecimento de energia, escolha do melhor enquadramento tarifário, acionamento de grupos motores geradores (GMG) durante horário de ponta (redução do custo), educação e conscientização do uso racional de energia elétrica voltado à eficiência energética.

2.3 Sistemas Fotovoltaicos Off Grid (Não conectado à rede)

Nesse tipo de sistema, a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é direcionada à alimentação dos aparelhos elétricos da propriedade e armazenada em baterias, o que possibilita ter energia disponível quando o sistema não está gerando nenhuma energia.

Quando o sistema fotovoltaico não é conectado à rede de distribuição elétrica convencional, a existência de baterias para armazenamento é indispensável, pois são elas que garantem a autonomia do sistema.

Por ser autônomo e independente da rede, não existe regulamentação específica para o sistema off grid, não havendo necessidade de um pedido formal de autorização.

Em geral, o sistema isolado é uma solução para atender a um propósito específico, como trazer energia a locais remotos e de difícil 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 ou bombas d'água são outros exemplos comuns de seu uso.

2.4 Sistemas fotovoltaicos On Grid (Conectado à rede)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são caracterizados por estarem integrados à rede elétrica que abastece a população. Diferente dos sistemas isolados que atendem a um propósito específico e local, estes sistemas também são capazes de abastecer a rede elétrica com energia que pode ser utilizada por qualquer consumidor da rede.

Tais sistemas têm uma grande vantagem com relação aos sistemas isolados por não utilizarem baterias e controladores de carga. Isso os torna mais eficientes e também garante que a energia gerada seja utilizada, ou localmente ou em outro ponto da rede. Sistemas de conexão à rede podem ser utilizados tanto para abastecer uma residência, ou então simplesmente produzir e injetar a energia na rede elétrica, assim como uma usina hidrelétrica ou térmica.

Do ponto de vista dos componentes, um sistema fotovoltaico grid-tie (Não conectado à rede) é composto por painéis solares e inversores. Os inversores grid-tie, além de transformar a corrente contínua em alternada, devem sincronizar o sistema com a rede pública. Pelo o sistema estar conectado à rede, a falta de energia é compensada pela mesma, o que elimina a necessidade de baterias. Estes sistemas são basicamente de um único tipo e são aqueles em que o painel fotovoltaico representa uma fonte complementar ao sistema elétrico ao qual está conectado.

2.5 Sistema Fotovoltaico híbrido

É um sistema de Geração Fotovoltaico conectado à rede elétrica (similar ao Grid-tie) integrado com um sistema de armazenamento de energia inteligente (similar ao off-Grid), que gera além da economia uma maior confiabilidade para cargas prioritárias e autonomia conforme banco de bateria ou fonte de energia secundária, diferente de sistema fotovoltaico tradicional que não opera com uma queda de energia da rede local. Os sistemas fotovoltaicos híbridos oferecem uma gama de aplicações específicas, assim como sua composição de ativos e equipamento podem variar conforme aplicação.

Os sistemas híbridos se caracterizam pela utilização de uma ou mais fontes de energia renováveis com grande utilização da energia solar e eólica, podendo ainda ser combinada com uma fonte de energia complementar, não renovável, como por exemplo, um grupo motor gerador à diesel.

Como cada fonte de energia possui suas próprias particularidades de produção de energia, é comum que cada uma delas dê sua contribuição ao sistema elétrico nos respectivos períodos em que estão gerando energia, de forma a se complementarem em determinados períodos do dia.

Tal sistema será aplicado nas simulações que irão prover os resultados para este estudo, onde será verificado o comportamento das fontes e das cargas as comutações realizadas pelas chaves de transferência.

2.6 Transferência de fontes e cargas elétricas

Os sistemas de transferência automática são utilizados para cargas elétricas críticas, ou seja, equipamentos cuja interrupção no seu funcionamento pode resultar em prejuízos para os usuários que dependem deste sistema. Sendo assim, este tipo de carga necessita de um fornecimento de energia com alta disponibilidade e de boa qualidade [22].

O elemento principal de um sistema de transferência automática é a chave de transferência automática, esta por sua vez é basicamente um interruptor que interliga eletricamente uma determinada carga entre duas fontes. Estas chaves podem ser manuais, onde o operador faz a comutação entre as fontes disponíveis ou chaves automáticas, QTA's (Quadros de Transferência Automática), também conhecidos por ATS (*Automatic Transfer Switch*), onde um sistema eletrônico monitora a disponibilidade de cada uma das fontes e faz a comutação entre a de maior disponibilidade [23].

Esta técnica tem sua principal função de transferência de carga na ocorrência de falha de fornecimento de energia pela fonte principal (rede da concessionária, por exemplo), levando à necessidade de se utilizar uma fonte secundária (gerador ou baterias) para alimentar estas cargas. Tal técnica também pode ser utilizada para transferência de fontes nos horários de ponta, o qual a energia fornecida e consumida proveniente da concessionária é mais cara.

Neste trabalho o processo de transferência se dará entre 3 diferentes fontes de energia (rede, painéis fotovoltaicos e banco de baterias), fazendo a comutação entre os inversores conforme seja detectada a falta de fornecimento de energia pela rede da concessionária, assim como a necessidade da entrada de mais uma fonte para complementar o suprimento de potência para as cargas, no caso em que demanda esteja maior que a potência gerada por uma única fonte.

Serão então apresentados a seguir os diferentes métodos possíveis de se realizar a transferência entre as fontes e as cargas, mostrando também quais os tipos de chaves que podem constituir o sistema de comutação de acordo com a necessidade do sistema proposto.

2.7 Transferência automática

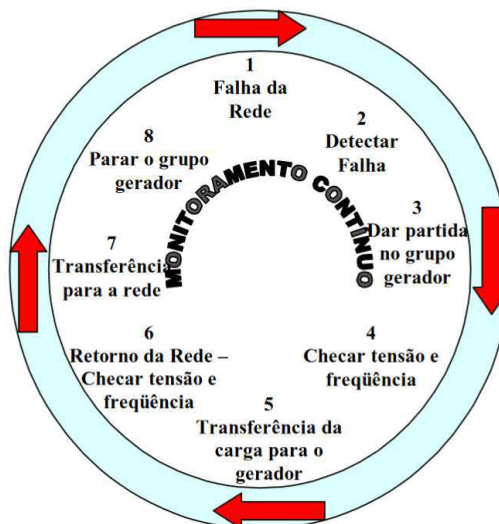
Para um sistema realizar transferência automática se faz necessário a utilização de componentes eletrônicos para fazer o monitoramento/sensoriamento do estado das fontes de energia, para saber se estão dentro do limite considerado desejável e caso não estejam serem realizadas as devidas comutações da carga entre elas.

Estes sistemas possuem tempos de comutação mais curtos e compõem os QTA's (Quadros de Transferência Automática), também conhecidos por ATS (*Automatic Transfer Switch*). Estes se dividem em dois grupos: Os de transição aberta e os de transição fechada.

Deve-se adicionar principalmente um dispositivo que faça o sensoriamento da rede, que seja capaz de perceber falhas de tensão e frequência e fechar um contato para acionamento de outra fonte, seja ela um gerador ou baterias por exemplo. Estes possuem parâmetros ajustáveis, inclusive um tempo para confirmação de falha, de modo a evitar partidas desnecessárias do grupo gerador por conta de picos instantâneos de tensão [24].

A Figura 3 ilustra um fluxograma de transferência de carga para um grupo gerador a diesel.

Figura 3: Funções do sistema de transferência de carga.



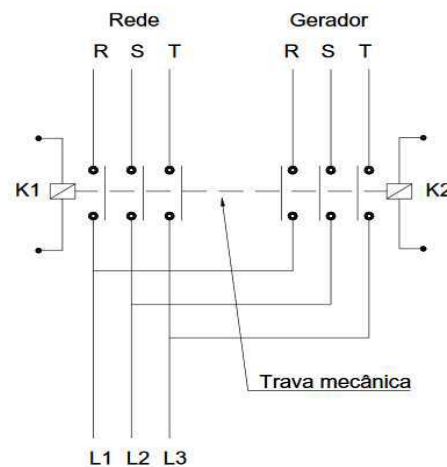
Fonte: Pereira [24].

2.8 Transição aberta

Para o caso de transição aberta, os quadros de transferência automática realizam a comutação entre uma fonte ou outra para alimentar a carga, se assemelhando ao que ocorre no sistema manual, porém neste caso é feita a utilização de sensores para que a comutação seja realizada de forma autônoma. O uso de contatores como as chaves que realizarão a transferência é bastante comum para este caso, devido a boa robustez e atrativo custo do mesmo.

É importante que seja projetado para estes sistemas um travamento mecânico que impeça a possibilidade de dois contatores sejam fechados simultaneamente, o que causaria danos ao sistema. Além deste método de segurança, podem ser adicionados intertravamentos elétricos através de contatos auxiliares dos contatores. A Figura 4 ilustra a ligação elétrica para este tipo de sistema.

Figura 4: Diagrama elétrico de contatores com intertravamento mecânico.



Fonte: Pereira [29].

Um problema que ocorre relacionado ao uso de contatores nestes sistemas é que, mesmo estes componentes permitindo o ajuste do tempo de comutação, os sistemas acionados através de contatores possuem um atraso para o desligamento de carga devido a características intrínsecas deste componente. O que causa o desligamento momentâneo da carga.

Porém quando este desligamento se torna um fator crítico na análise da escolha do QTA, recomenda a utilização de QTA's baseados em tiristores (SCR's), que são componentes eletrônicos com capacidade de chaveamento muito superiores, gerando intervalos de

interrupção para transferência entre uma fonte e outra de menos de meio ciclo de onda senoidal em 60 Hz, tornando a desligamento momentâneo imperceptível [32].

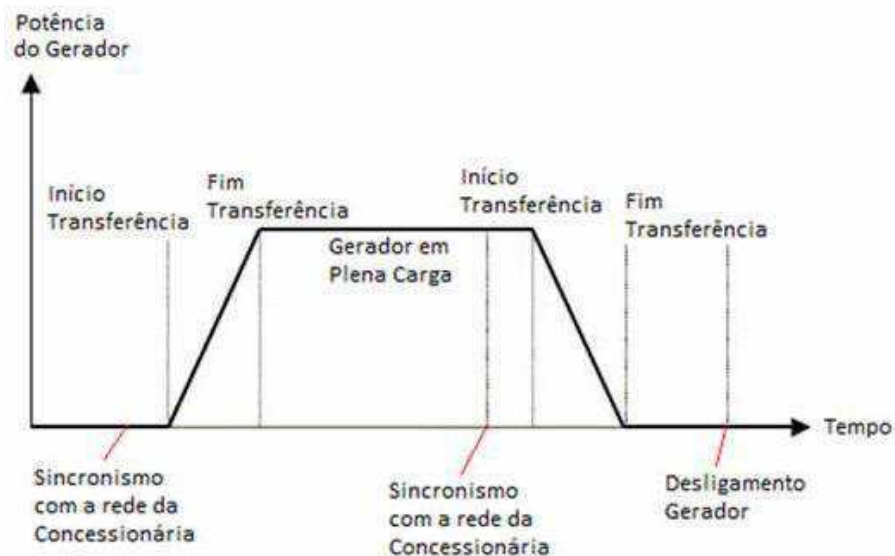
2.9 Transição fechada

Para o caso da transferência automática por transição fechada, esta por sua vez coloca as duas fontes em paralelo momentaneamente, sendo que para utilização com a rede da concessionária e que não haja interferências e instabilidade na mesma, existem exigências específicas que devem ser atendidas, basicamente com relação a sincronismo entre as fontes a fim de evitar quaisquer transtornos.

Para que haja então tal sincronismo, são feitos ajustes no que diz respeito ao ângulo de fase, frequência e magnitude da tensão da fonte secundária de modo que estas grandezas tenham os mesmos valores que a fonte primária, garantindo assim o conhecido sincronismo entre as fontes que possibilita a ligação de ambas em paralelo.

Na Figura 5 temos a transferência de carga entre fontes para uma transição fechada em rampa, ou seja, de modo suave.

Figura 5: Transferência de carga em transição fechada em rampa.



Fonte: Pereira [24].

Este sistema possibilita então que o desligamento momentâneo seja inexistente, fazendo com que cargas que necessitam de trabalhos ininterruptos possam operar normalmente durante a transferência de carga.

Para o sistema proposto no estudo a necessidade é de um sistema automático que possa detectar a falta de energia proveniente da rede da concessionária e faça a comutação da alimentação da carga, tendo como fontes de alimentação o sistema de geração fotovoltaica conectada à rede e o sistema de geração fotovoltaico isolado. Temos também o fornecimento de energia através da concessionária, todavia este será desconsiderado para a determinação do método uma vez que este está interligado através do sistema de geração fotovoltaico conectado à rede, sendo este já considerado na análise.

2.10 Tipos de chaves para transferência

As chaves de transferência com comandos elétricos, na sua extensa maioria, são constituídas por pares de contatores ou disjuntores motorizados, para o projeto do sistema de transferência de fontes e cargas, podemos utilizar alguns diferentes tipos de chaves e dispositivos para compor o mesmo, os quais podemos citar:

- Contatores;
- Tiristores (SCR e Triac);
- Chave de transferência automática;
- Chave de transferência estática;
- Chaves dedicadas;
- Relé de estado sólido.

Contatores são dispositivos eletromecânicos da área de comandos elétricos que permite, a partir de um circuito de comando, efetuar o controle de cargas num circuito de potência.

Tiristores englobam uma família de dispositivos semicondutores multicamadas, que operam em regime de chaveamento, tendo em comum uma estrutura de no mínimo quatro camadas semicondutoras numa sequência P-N-P-N (três junções semicondutoras), apresentando um comportamento funcional. O tiristor SCR se assemelha a uma fechadura pelo fato da corrente poder fluir pelo dispositivo em um único sentido, entrando pelo terminal de anodo e saindo pelo terminal de catodo. No entanto difere de um diodo porque mesmo quando o dispositivo está diretamente polarizado ele não consegue entrar em condução

enquanto não ocorrer a ativação do seu terminal de controle. Um TRIAC, equivale a dois retificadores controlados de silício(SCR/tiristores) ligados em antiparalelo e com o terminal de disparo (gatilho/gate) ligados juntos. Este tipo de ligação resulta em uma chave eletrônica bidirecional que pode conduzir a corrente elétrica nos dois sentidos.

Chave de transferência automática funciona como um interruptor que liga uma carga entre duas fontes. A chave de transferência só é acionada quando uma fonte está ausente: se o abastecimento elétrico estiver funcionando corretamente, a fonte se mantém desligado, e seu funcionamento só é acionado em caso de interrupção do fluxo normal de energia. Esta característica garante tanto a segurança dos sistemas elétricos como a eficiência e agilidade para normalizar o abastecimento de energia.

A chave de transferência estática são chaves de transferência sem contatos móveis, baseados em SCR, são utilizadas principalmente, nos sistemas UPS (Uninterruptible Power Suppliers) ou no-breaks estáticos e atualmente começam a encontrar aplicações nas instalações de grupos geradores. A transferência com chave estática ocorre em transição aberta, isto é com interrupção de 2 a 4 ms. Esta interrupção é imperceptível e não detectada pelos equipamentos consumidores.

Chaves de transferência dedicadas, são àquelas construídas especificamente para comutação entre duas fontes de energia, diferentemente da concepção anterior com base em contatores ou disjuntores. Basicamente, é um mecanismo que combina as ações de massa e campo magnético para impulsionar os contatos no sentido de uma das fontes ao mesmo tempo em que desconecta a outra, sem possibilidade de paralelismo acidental. As concepções utilizadas variam de um para outro fabricante. Pode ser utilizado um atuador linear bidirecional para a mudança de contatos entre as fontes, além de prever o intertravamento elétrico dos comandos e oferecer diversos recursos de supervisão e controle microprocessados.

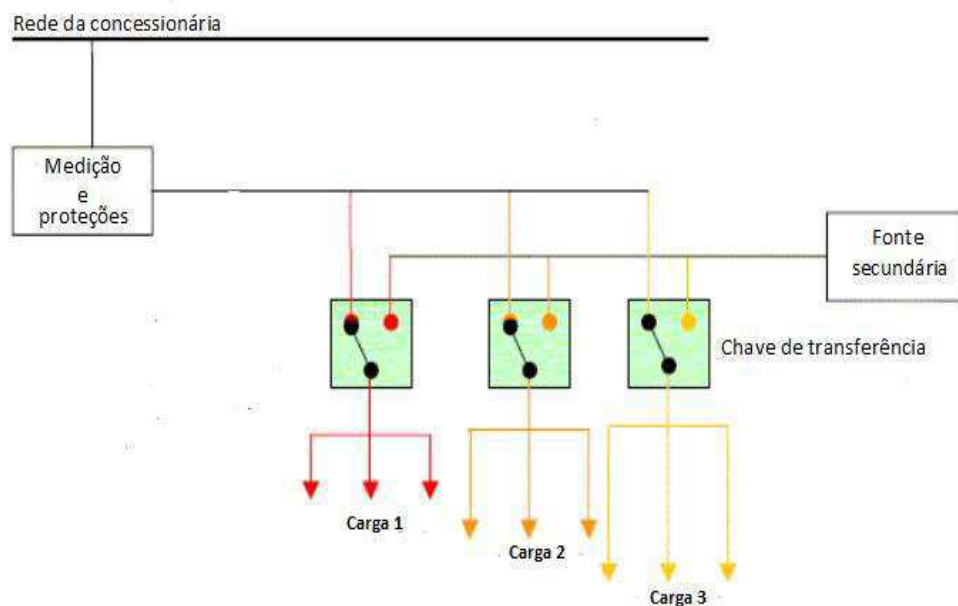
O relé de estado sólido, é um componente eletrônico totalmente em estado sólido, ou seja, não possui elementos mecânicos ou qualquer tipo de peça móvel, funcionando a partir de tiristores ao invés dos contatos. Possuem uma característica importante que é a detecção de zero, ou seja, só aciona ou desaciona a carga quando o sinal senoidal passa pelo “ponto zero”, fazendo com que a vida útil da carga e do componente seja aumentada, isso não acontece nos relés eletromecânicos.

Dentre as vantagens deste dispositivo estão: Não ocorre o problema do repique dos contatos, não produz o ruído na atuação, devido à ausência de contatos um rele de estado

solido não gera arco elétrico e vida útil e durabilidade maiores pois não há desgaste de contatos nem partes mecânicas. Como desvantagens podemos citar: O circuito de saída é sensível podendo ser danificado por sobre-tensões, em alguns casos podem ter um custo mais elevado, a saída precisa de uma tensão e corrente mínima para operar e normalmente estão restritos à operações com um único pólo.

De forma geral queremos aplicar as chaves de transferência automática da seguinte maneira disposta na figura a seguir.

Figura 6: Aplicação das chaves de transferência

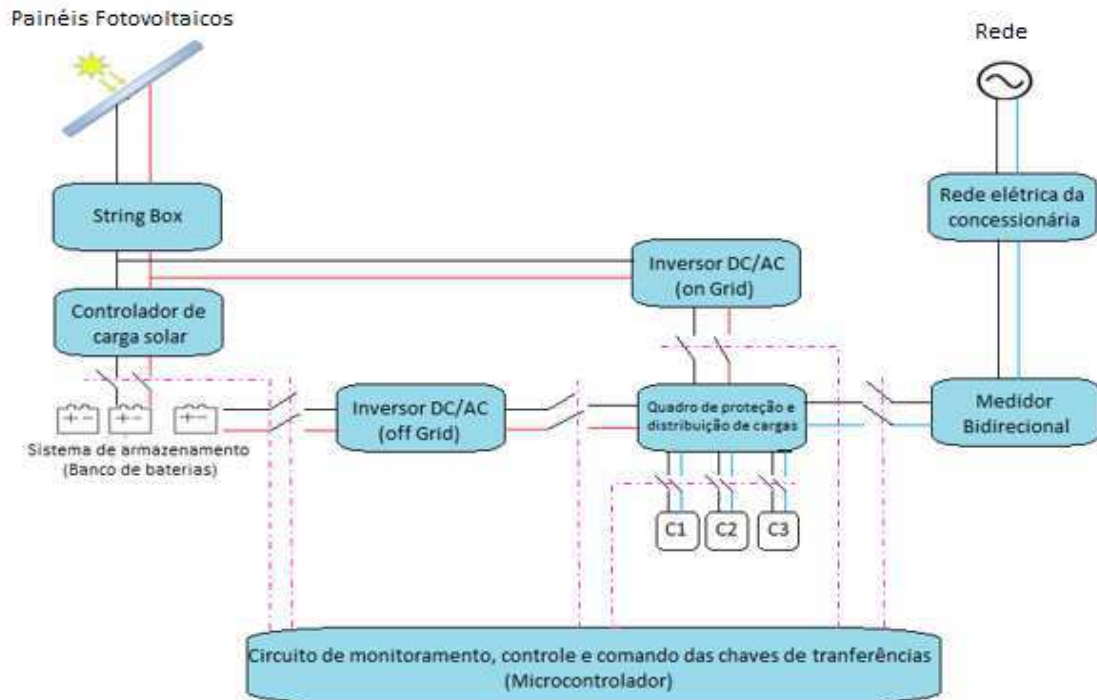


Fonte: <http://joseclaudio.eng.br/energia/ATS>

3 O SISTEMA PROPOSTO

Primeiramente foi desenvolvido um digrama que mostra o sistema proposto como um todo, seus componentes e as chaves de transferência para as fontes e cargas. O mesmo diagrama será adaptado para realização das simulações que serão expostas ao decorrer deste trabalho. Na figura 7 observamos tal diagrama, de tal forma que será feita uma explicação a respeito da função de cada componente, assim como os possíveis modos de operação propostos neste projeto.

Figura 7: Diagrama de blocos do sistema fotovoltaico híbrido com chaves de transferência.



Fonte: Próprio autor.

Como pode-se observar na Figura 7 acima temos as 3 fontes geradoras de energia (rede, solar e baterias), alguns inversores, o controlador de carga solar, as chaves de transferência para cada fonte e carga e o circuito de monitoramento, controle e comando das chaves de transferência que será responsável por realizar toda a lógica de chaveamento.

3.1 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES E SUAS FUNÇÕES

Olhando a figura pelas partes componentes do sistema de abastecimento proveniente dos painéis solares, está o String Box (Caixa de proteção), que é um equipamento de proteção, que isola o sistema fotovoltaico, impedindo acidentes elétricos como curtos-circuitos e surtos elétricos. Ela deve ser conectada ao inversor de frequência e ao quadro de proteção da rede elétrica. Quando conectado ao lado CC (corrente contínua), ele protege a instalação e as placas solares contra descargas elétricas. Quando os dispositivos de segurança estão presentes na conexão com o lado CA (corrente alternada), ele realiza a proteção da instalação contra descargas atmosféricas.

Após a String Box temos o controlador de carga, sendo o responsável pela duração da vida útil dos bancos de baterias. A função do regulador de carga, é a de proteger as baterias de

serem sobrecarregadas, ou descarregadas profundamente, e assim garantir, que toda a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, é armazenada com maior eficácia nas baterias, regulando assim sua vida útil.

Prosseguindo pelo esquema temos o banco de baterias, que irá servir para armazenar o excedente de energia produzido pelos painéis solares e assim teremos uma forma de backup para abastecimento das cargas. Em seguida temos os inversores DC/AC que irão converter a tensão contínua produzida pelos painéis e baterias em tensão alternada para abastecer as cargas.

Do lado da energia proveniente da rede da concessionária temos o medidor bidirecional, componente responsável por registrar a energia recebida da distribuidora e a energia solar que é injetada na rede elétrica, desta forma no caso em que se produz mais energia solar do que se utiliza, haverá uma compensação dos créditos na conta de energia.

Conectando todo esse sistema temos as chaves de transferência que serão as responsáveis para fazer a comutação entre as fontes, havendo a possibilidade de ligar/desligar as mesmas, assim como para as cargas, podendo essas chaves serem do tipo, por exemplo, contatoras, relés de estado sólido ou tiristores (SCR, Triac etc), capazes de seccionar o circuito nas posições onde as mesmas forem instaladas.

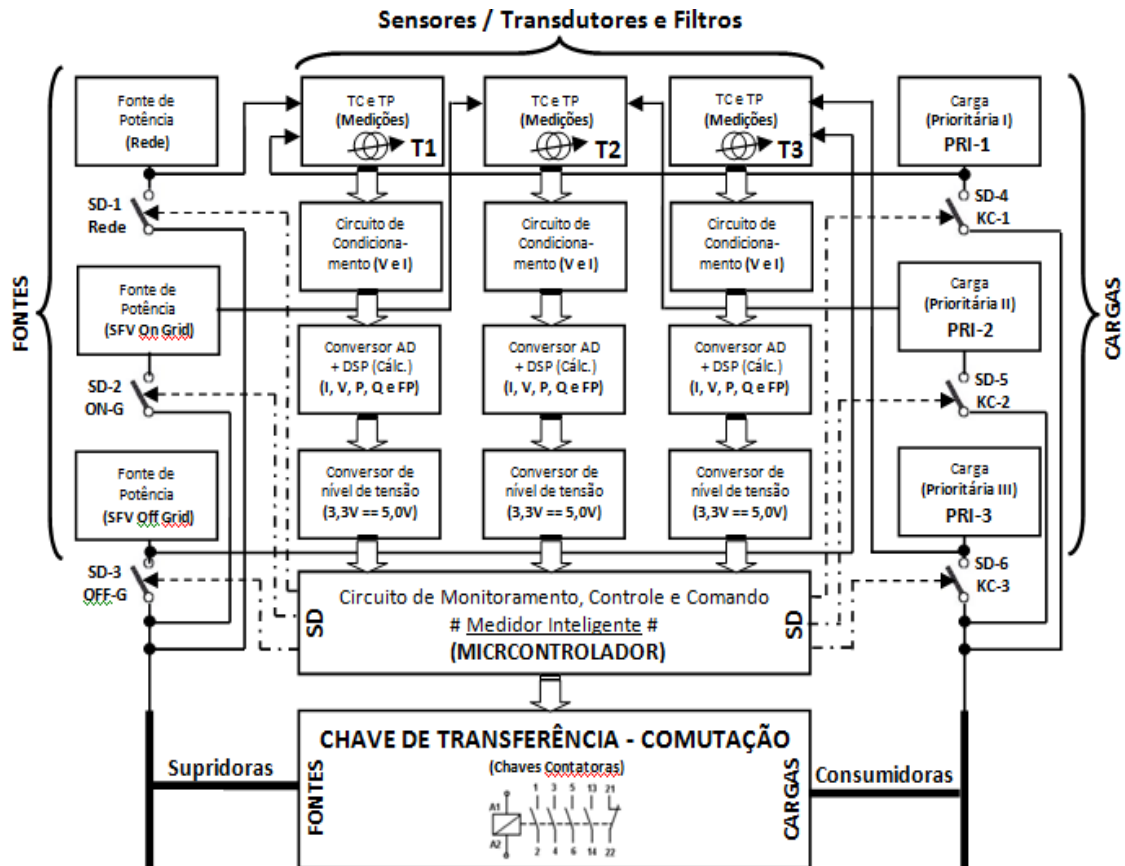
Por fim temos o circuito de monitoramento, controle e comando das chaves de transferência, este será o responsável por enviar para as chaves de transferência o sinal responsável para abrir ou fechar, de tal forma que será composto por sensores para medir a tensão e a corrente de cada fonte, assim como das cargas, comparando-as em termos de potência se estão dentro do padrão definido em um microcontrolador, para que assim a partir da lógica que for implementada serem tomadas as ações para realizar a comutação das chaves de transferência.

Como se quer ter um melhor aproveitamento da energia produzida pelos painéis e a proveniente das baterias, o circuito explanado acima tem grande importância, pois podemos adequar a partir da lógica implantada no microcontrolador, os momentos em que desejamos usar tais fontes de acordo com a disponibilidade e assim se possível reduzir a dependência da energia proveniente da rede da concessionária. Podendo o sistema ser adequado a cada prédio da UFCG, pois como cada um apresenta um padrão de carga diferente, deverão ser implantadas diferentes condições para atuação do sistema de controle.

Mediante a importância do circuito citado acima para a comutação das chaves de transferência, foi então desenvolvido um diagrama de blocos para ilustrar o seu

funcionamento e ficar mais claro o entendimento. A Figura 8 contém o diagrama de blocos do circuito proposto.

Figura 8: Diagrama de blocos do circuito controlador.



Fonte: Próprio autor.

Avaliando o diagrama podemos perceber que todo processo se inicia com a medição das grandezas elétricas tensão (V) e corrente (I) das fontes de potência e das cargas, medições estas realizadas por sensores (TC's e TP's). Após esta primeira etapa os valores que foram colhidos são então passados para um circuito de condicionamento para tensão e corrente, com o intuito de adequar tais valores aos suportados pelos circuitos integrados e pelo microcontrolador presentes no circuito.

Após a passagem pelo circuito de condicionamento está o bloco conversor AD + DSP (Cálc.), que é composto por circuitos integrados (CI) dedicados, que receberá as informações analógicas das tensões e correntes já condicionadas a valores suportáveis do sistema de medição das respectivas fontes de potências e das cargas, fornecendo em suas saídas os dados

das tensões (V), correntes (A), potências ativas (W), potências reativas (var) e dos fatores de potências (Adimensional). Lembrando que os circuitos de condicionamentos dos sinais de tensões e correntes dessas fontes de potências supridoras e das cargas consumidoras, tem por função reduzir os valores reais medidos pelos sensores, para valores proporcionais de medição compatíveis com a entrada analógica do circuito, desenvolvendo assim um medidor inteligente.

Finalizado todos esses processos, os dados chegarão ao circuito do microcontrolador que será responsável pelas tomadas de decisões de acordo com a lógica a qual está implementado, enviando sinais para ativação ou desativação das chaves de transferência, que no diagrama estão representadas por contadoras e suas respectivas bobinas. Sendo assim as contadoras tanto para as fontes como as cargas irão comutar de acordo com o sinal enviado do microcontrolador para as suas bobinas, o que irá depender da disponibilidade de energia de cada fonte e se no momento elas conseguem suprir todas as cargas ou apenas uma parte delas.

3.2 COMUTAÇÃO DAS CHAVES E MODOS DE OPERAÇÃO

O sistema controlado das comutações das chaves de transferência, será dependente da disponibilidade de energia de cada fonte e também das condições de cada carga, visto que no caso de uma emergência como uma falta de energia, caso exista uma carga que tenha necessidade de abastecimento constante, deve-se utilizar a energia que estiver armazenada nas baterias para alimenta-la até o momento que for possível. Desta forma como teremos medidores inteligentes em cada prédio da UFCG, que determinarão o padrão de consumo de cada um individualmente, será possível tratar cada caso com suas particularidades e aplicar estas condições ao circuito de monitoramento, controle e comando das chaves de transferência, de tal forma que as chaves de transferência atuem nos momentos favoráveis implementados na lógica de programação do microcontrolador.

Por conseguinte, foram então definidos alguns modos de operações para o sistema que servirá como base para as simulações que irão demonstrar a comutação das chaves de transferência, tanto para as fontes como as cargas, os quais serão apresentados a seguir:

Apenas a rede funciona: Neste caso estamos supondo que apenas a rede elétrica da concessionária está atuando como fonte de energia para as cargas do sistema, de tal forma que as chaves de transferência receberão um sinal proveniente do circuito de controle,

monitoramento e comando para fechar para esta fonte e abrir para as demais. Tal situação pode ocorrer no caso em que os painéis solares não estejam produzindo energia suficiente para abastecer as cargas e o banco de baterias esteja descarregado, ou durante o período noturno, cabendo apenas a rede suprir todas as cargas.

Rede + Sistema Fotovoltaico: Para tal modo de operação, estamos levando em conta que a rede elétrica da concessionária está ativa e funcionando normalmente e que receberá a contribuição da energia produzida pelos painéis solares, para abastecer as cargas, de tal forma que as chaves de transferência estarão ativas para estas duas fontes. Caso a energia produzida pelos painéis seja excessiva em relação a demanda, a mesma será injetada na rede.

Apenas Sistema Fotovoltaico: Este caso representa uma situação em que não temos a rede atuando nem as baterias, um exemplo de tal situação seria o caso de um blackout e as baterias estarem descarregadas, desta forma o circuito de monitoramento irá verificar o padrão e o microcontrolador irá atuar liberando as chaves de transferência conectada aos painéis e bloqueando as que estão conectadas as outras duas fontes, permitindo assim que as cargas ou parte delas sejam abastecidas pela energia que está sendo provida pelos painéis. No caso em que os painéis não possam alimentar todas as cargas pode-se implementar uma lógica para que o microcontrolador determine aquelas que são cargas prioritárias e assim apenas estas sejam supridas com a energia disponível.

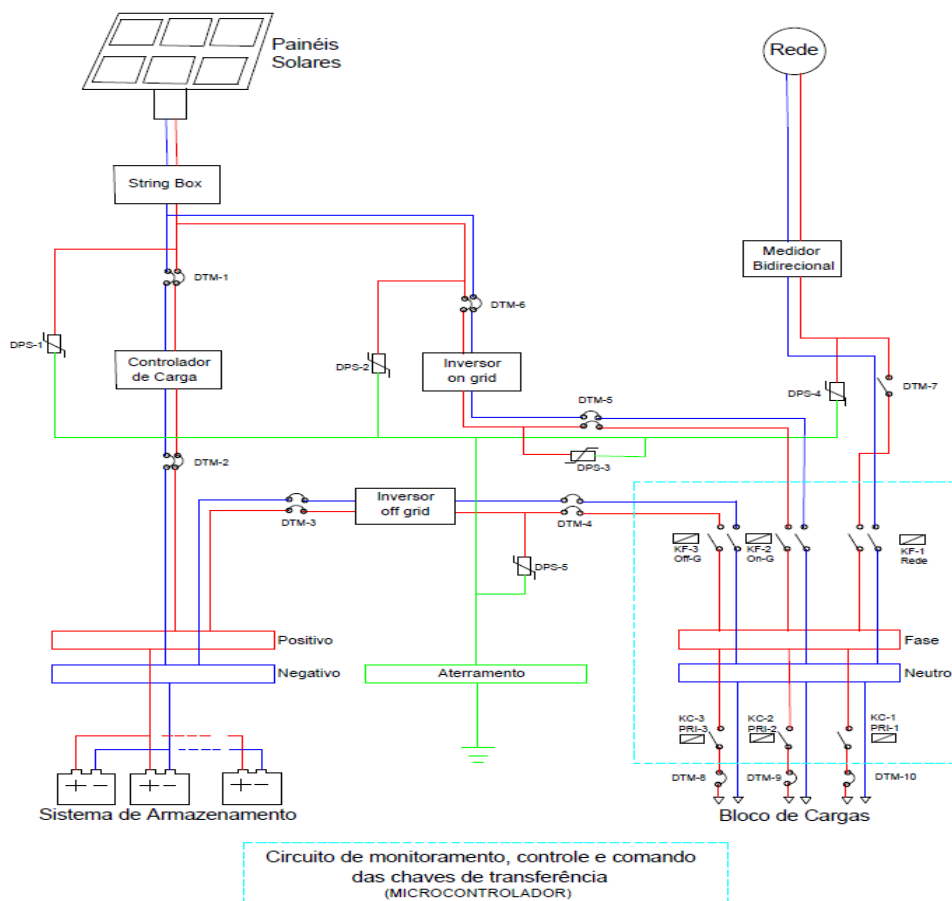
Sistema Fotovoltaico + Baterias: Neste caso temos uma situação em que os painéis estariam produzindo energia e as baterias estão carregadas para complementar o que for necessário para abastecimento das cargas. As chaves de transferência destas fontes irão estar ativas e a da rede bloqueada, tal situação pode ser representativa no caso de um blackout durante o dia ou então por um simples uso destas fontes para poder reduzir o tempo em que a rede passa funcionando diminuindo assim os gastos.

Apenas Baterias: Esta última situação seria mais para um caso emergencial, visto que utilizar a todo momento as baterias irá reduzir sua vida útil e pelo fato de ser algo de investimento elevado, o ideal é utiliza-la em situações emergências no caso por exemplo de uma falta na rede durante o período noturno e que também não haverá energia sendo produzida pelos painéis, em tal situação a chave de transferência das baterias seria ativada e as das outras fontes desativadas, sendo assim o sistema ou parte dele suprido por elas.

3.3 CONFIGURAÇÃO ELÉTRICA DO SISTEMA

Foi desenvolvido no ambiente do AutoCAD um diagrama elétrico, o qual podemos observar na figura 9, mostrando o sistema inicialmente proposto, porém agora com a inclusão dos dispositivos de proteção e suas respectivas ligações aos equipamentos elétricos. Onde estes dispositivos de proteção serão os responsáveis para proteger as instalações contra danos causados por curtos-circuitos e sobrecargas de corrente (DTM - Disjuntores Termomagnéticos e Fusíveis) e as proteções contra sobretensões transitórias na rede elétrica para desviar as correntes de surtos elétricos (DPS - Dispositivo de Proteção Contra Surtos) que são normalmente causados por descargas atmosféricas (raios), chaveamentos ou manobras de rede e no momento de ligar ou desligar certas cargas. O diagrama não tem caráter de dimensionamento dos componentes, apenas visa mostrar como será dada a ligação de tais dispositivos no circuito.

Figura 9: Projeto elétrico do sistema fotovoltaico híbrido.



Fonte: Próprio autor.

O diagrama acima irá servir como base para as simulações que serão apresentadas mais adiante, onde poderemos avaliar se o chaveamento automático controlado por uma lógica previamente determinada apresentará o comportamento dentro do padrão esperado, onde estaremos avaliando em termos de potência se as fontes e as cargas respeitam a lógica de chaveamento, ou seja, se acompanham a abertura e fechamento da suas respectivas chaves, analise esta que será feita de forma gráfica.

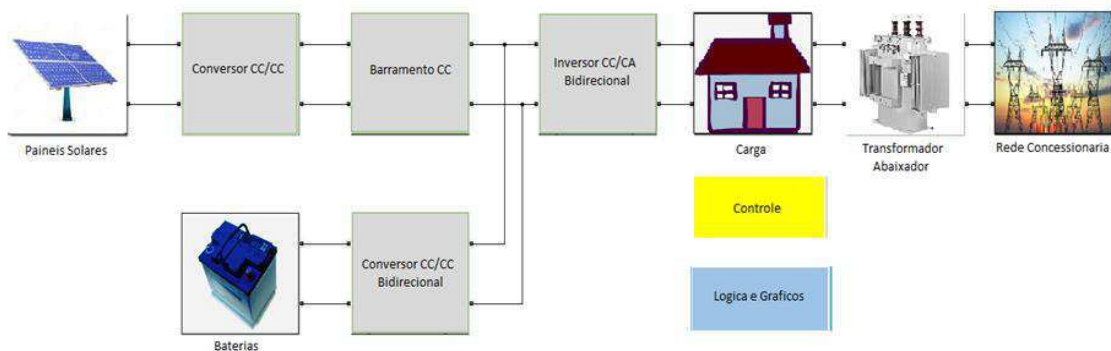
4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Aqui serão apresentados e discutidos as simulações e seus respectivos resultados, para que possamos avaliar se o chaveamento controlado apresentou um comportamento desejável mediante as condições que foram preestabelecidas. Dentre do ambiente do Simulink® iremos avaliar as respostas gráfica do sistema, já no CADeSIMU® será apresentado os diagramas de força e comando, com as comutações das chaves de transferência para os diferentes modos de operação.

4.1 SISTEMA MODELADO NO AMBIENTE SIMULINK

Foi realizada uma modelagem para simulação no ambiente Simulink de tal forma a se obter os comportamentos dinâmicos do sistema proposto, sendo possível observar as respostas das cargas e das fontes de potências ao processo de chaveamento. Na figura 10 é exibido o diagrama de blocos do modelo usado na simulação, modelo este que é composto por três fontes de potências (Rede Concessionária, Painéis Solares e Banco de Baterias), conversores CC/CC, barramento CC, inversor CC/CA bidirecional, carga e transformador abaixador. Na próxima seção será apresentado separadamente cada bloco para facilitar a compreensão do funcionamento do sistema modelado.

Figura 10: Diagrama de blocos do modelo usado na simulação do ambiente Simulink.



Fonte: Adaptado MathWorks®.

O princípio de funcionamento do sistema que está sendo simulado é da seguinte maneira: considerando um instante em que o sistema ainda não apresenta uma carga acionada que consuma a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico (SFV), portanto, como se trata de um sistema híbrido, a energia elétrica obtida da microgeração referente aos painéis solares deve ser injetada para a rede elétrica de distribuição da concessionária. Agora considerando que uma carga, com potência inferior a potência gerada pelo sistema fotovoltaico ($P_{\text{Carga}} < P_{\text{Geração}}$) seja acionada, dessa maneira, os painéis solares conseguem fornecer energia a essa carga e o excedente de potência gerada pelo SFV é injetado para a rede elétrica da concessionária. Posteriormente, quando houver mais acionamentos de outras cargas fazendo com que o consumo das mesmas aumentem, com potência superior a potência gerada pelo sistema fotovoltaico ($P_{\text{Carga}} > P_{\text{Geração}}$), nesse instante os painéis solares não fornecem energia suficiente para alimentar as cargas, então o restante da energia elétrica é complementado pela rede elétrica da concessionária. Considerando agora que a rede pública seja desconectada, o que pode acontecer, por exemplo, em uma situação de faltas ou desligamento da rede de distribuição da concessionária. Então, como as baterias estão conectadas ao sistema e caso não haja carga acionada, a energia gerada nos painéis solares é utilizada para carregar as baterias. Por fim, se as cargas são acionadas novamente o banco de baterias, vai funcionar de maneira semelhante a um no-break, irá complementar a potência necessária para alimentá-las, como ocorria com a rede de distribuição.

4.1.1 BLOCO REDE DA CONCESSIONÁRIA

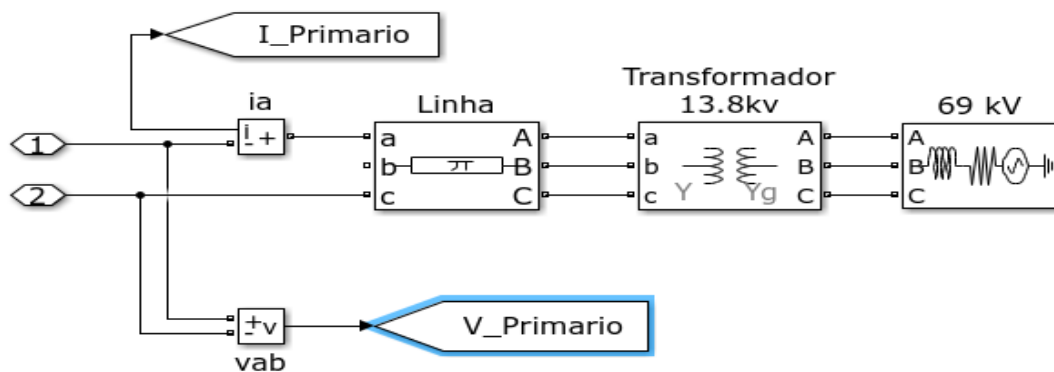
Para simulação da rede de distribuição de energia elétrica da concessionária foi modelado o bloco apresentado na figura 11. Este bloco é composto por uma unidade geradora

de 69 kV (representada pela subestação - fonte de tensão trifásica balanceada onde é possível especificar resistência interna e a indutância de dispersão, bem como a potência e a tensão nominal), um transformador de força abaixador de 69 kV/13,8 kV para se adequar aos níveis da distribuição feita nos centros urbanos no Brasil e um bloco que representa uma linha de transmissão trifásica balanceada com parâmetros concentrados em um modelo PI. Os sinais indicados como I_Primary (ia) e V_Primary (vab) são enviados para as entradas do osciloscópio o qual irá exibir os comportamentos destas duas componentes.

Principais parâmetros especificados na modelagem:

- ✓ Bloco gerador 69 kV: Tensão fase a fase: 69 kV e Frequência nominal: 60 Hz;
- ✓ Bloco transformador de força abaixador 69 kV/13,8 kV: Potência aparente: 10×10^6 VA e Frequência nominal: 60 Hz;
- ✓ Enrolamento 1 de 69 kV: R1: 0,002 pu e L1: 0,08 pu;
- ✓ Enrolamento 2 de 13,8 kV: R2: 0,002 pu e L2: 0,08 pu.

Figura 11: Bloco representativo da rede elétrica da concessionária.



Fonte: Adaptado MathWorks®.

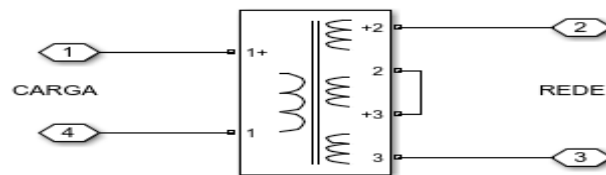
4.1.2 BLOCO TRANSFORMADOR ABAIXADOR 13,8 KV/220 V

Para o sistema se adequar a níveis de tensões para atendimento residencial, se fez necessário a utilização de um transformador de atendimento (abaixador) para reduzir o nível de tensão de 13,8 kV para 220 V, para tal finalidade foi utilizado o bloco da figura 12. A parametrização desse bloco tem como objetivo de atender a carga em 220 V - 60 Hz.

Principais parâmetros especificados na modelagem:

- ✓ Potência e frequência nominal: 10 kVA e 60 Hz;
- ✓ Tensão nominal nos enrolamentos: 13.800 V 127 V 127 V;
- ✓ Resistência dos enrolamentos: 0,00005 0,00005 0,00005 0,00005 pu.

Figura 12: Bloco representativo transformador de atendimento.



Fonte: Adaptado MathWorks®.

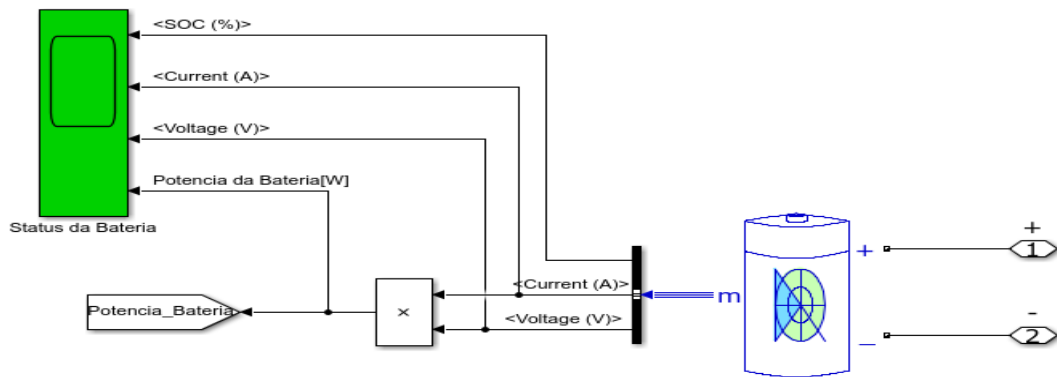
4.1.3 BLOCO BATERIAS

Uma das fontes de energia elétrica deste sistema são as baterias, ou seja, acumuladores de energia elétrica que representa o sistema de armazenamento. O banco de baterias foi dimensionado de forma a fornecer uma capacidade de 40 Ah a uma tensão de 200 V. Dentro do ambiente do Matlab/Simulink é oferecido um modelo de uma bateria o qual está apresentado na figura 13. Tal modelo contém alguns parâmetros a serem definidos de acordo com o projeto, parâmetros estes que estão expostos abaixo. Os sinais da Potência da Bateria (W), Tensão (V), Corrente (A) e Estado da carga (do inglês, *State Of Charge* SOC (%)) são enviados para as entradas do osciloscópio que mostrará o *status* da bateria.

Principais parâmetros especificados na modelagem:

- ✓ Tensão nominal: 200 V;
- ✓ Capacidade nominal: 40 Ah;
- ✓ Estado inicial de carga (SOC): 80 %;
- ✓ Tempo de resposta da bateria: 30 s.

Figura 13: Bloco representativo baterias.

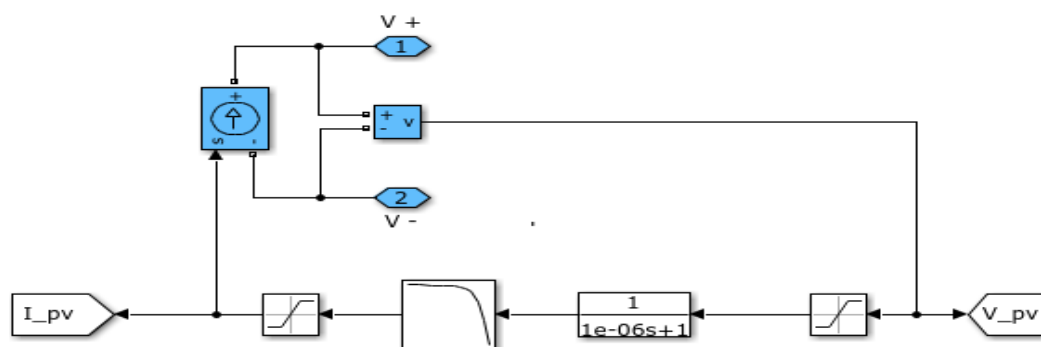


Fonte: Adaptado MathWorks®.

4.1.4 BLOCO PAINÉIS SOLARES

Para os painéis solares foi modelado um sistema que oferece em sua saída uma tensão variável em torno de 185 V a 225 V, uma corrente de aproximadamente 25,7 A gerando uma potência em torno dos 5.000 W, sendo controlado pela função de transferência apresentada na figura 14, dois blocos que limitam o valor máximo e mínimo de saturação do sinal de entrada, uma fonte de corrente controlada para manter a mesma constante e assim variando apenas a tensão do sistema, simulando a ação da temperatura e irradiação sobre os painéis solares. Os sinais I_{pv} e V_{pv} são enviados para as entradas do osciloscópio e também para o bloco que faz o controle do algoritmo MPPT - Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (do inglês, *Maximum Power Point Tracking*).

Figura 14: Bloco representativo dos painéis solares.

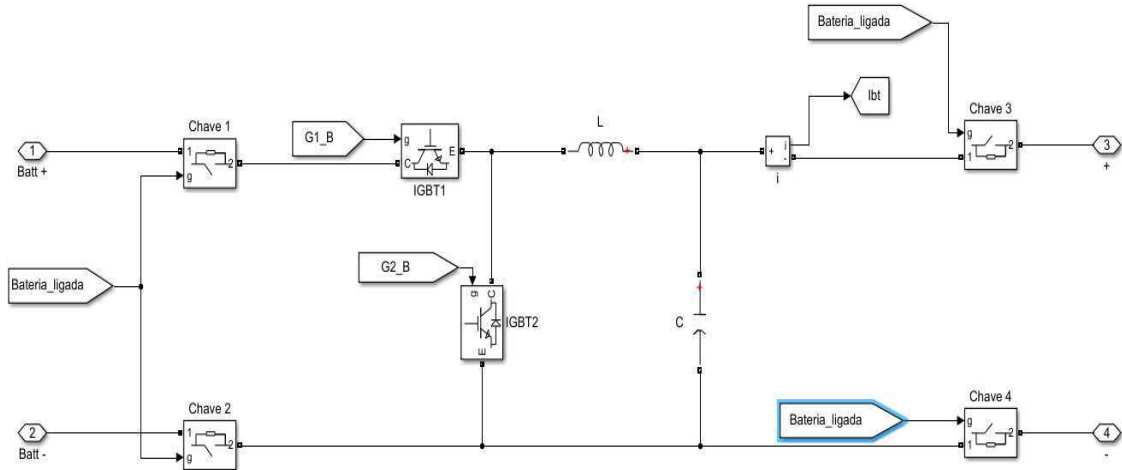


Fonte: Adaptado MathWorks®.

4.1.5 BLOCO CONVERSOR CC/CC BIDIRECIONAL

Na figura 15 é apresentado o modelo de um conversor CC/CC bidirecional utilizado neste sistema para o banco de baterias, para poder adequar a tensão provida dos painéis solares a níveis compatíveis com a máxima que o banco pode suportar, para que assim não haja nenhum dano ao mesmo quando este estiver sendo carregado pelos painéis ou pela rede da concessionária. O conversor CC/CC bidirecional será acionado a partir do momento em que forem acionados os *gates* (g) das chaves e dos IGBT's (sigla de origem na Língua Inglesa e significa “*Insulated Gate Bipolar Transistor*” ou, em Português Transistor Bipolar de Porta Isolada) que são interruptores eletrônicos resistentes, eficientes e relativamente rápidos. As etiquetas (*tag*) com o nome Bateria_ligada recebem o sinal gerado pelo bloco de controle que faz a lógica dos momentos em que a mesma estará atuando ou não.

Figura 15: Bloco representativo conversor CC/CC bidirecional.



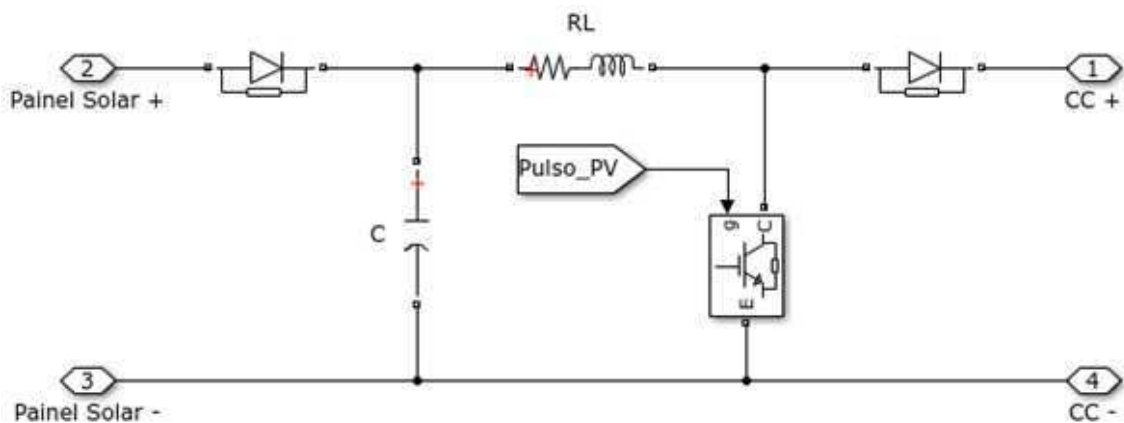
Fonte: Adaptado MathWorks®.

4.1.6 BLOCO CONVERSOR CC/CC

Este conversor CC/CC (painéis solares) é ligado diretamente ao painel fotovoltaico com o intuito de permitir o acompanhamento do ponto de potência máxima (MPPT) conforme ilustrado na figura 16. Como o sistema ficará buscando a todo tempo extrair a máxima potência possível de ser produzida ou um valor próximo dela, no caso do modelo proposto foi projetado para 5.000W. Com isto este conversor CC/CC irá operar para procurar o MPPT

aumentando assim a eficiência do sistema. O algoritmo de MPPT atua no chaveamento do IGBT para controle da tensão de saída de forma a se extrair mais potência que se obtém dos geradores fotovoltaicos, mantendo um alto nível de rendimento na conversão de potência que é entregue a carga. Sua atuação é necessária em face das variações de irradiâncias e temperaturas, medidas respectivamente em W/m^2 e $^{\circ}C$, impostas ao bloco dos painéis solares.

Figura 16: Bloco representativo conversor CC/CC.

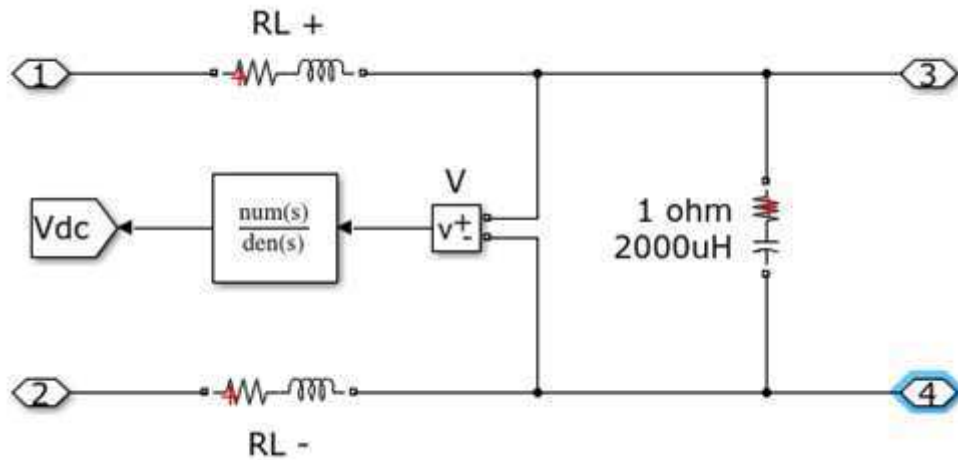


Fonte: Adaptado MathWorks®.

4.1.7 BLOCO BARRAMENTO CC

O barramento CC (*High-Voltage Direct Current – HVDC BUS*), com configuração apresentada na figura 17, tem a função neste projeto de estabilizar a tensão variável que são fornecidas pelos painéis devido a influência da temperatura e irradiação, portanto este bloco será capaz de receber uma tensão contínua variável e dar uma tensão contínua constante em sua saída.

Figura 17: Bloco representativo do barramento CC.

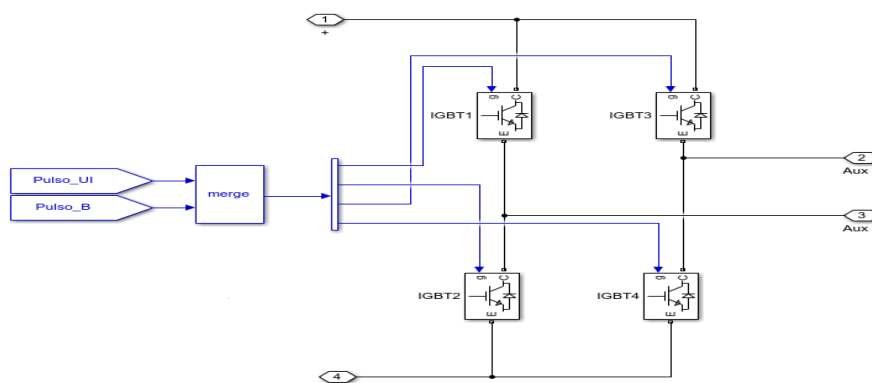


Fonte: Adaptado MathWorks®.

4.1.8 BLOCO INVERSOR CC/CA BIDIRECIONAL

O modelo apresentado na figura 18 é um inversor CC/CA bidirecional utilizado no sistema, a necessidade da utilização do mesmo se dá pelo fato das cargas serem abastecidas na sua maioria por corrente alternada (CA) e também para que os painéis solares possam injetar o excedente produzido na rede da concessionária, podendo assim haver a compensação energética futura. Por ser um inversor bidirecional a rede também poderá servir como fonte para carregar as baterias. O inversor CC/CA bidirecional será acionado quando do surgimento de um pulso nos gates (g) dos IGBT's fazendo-o assim funcionar na inversão $CC \rightarrow CA$ ou $CA \rightarrow CC$. O bloco “merge” funciona de forma similar a um Mux.

Figura 18: Bloco representativo do inversor CC/CA bidirecional.

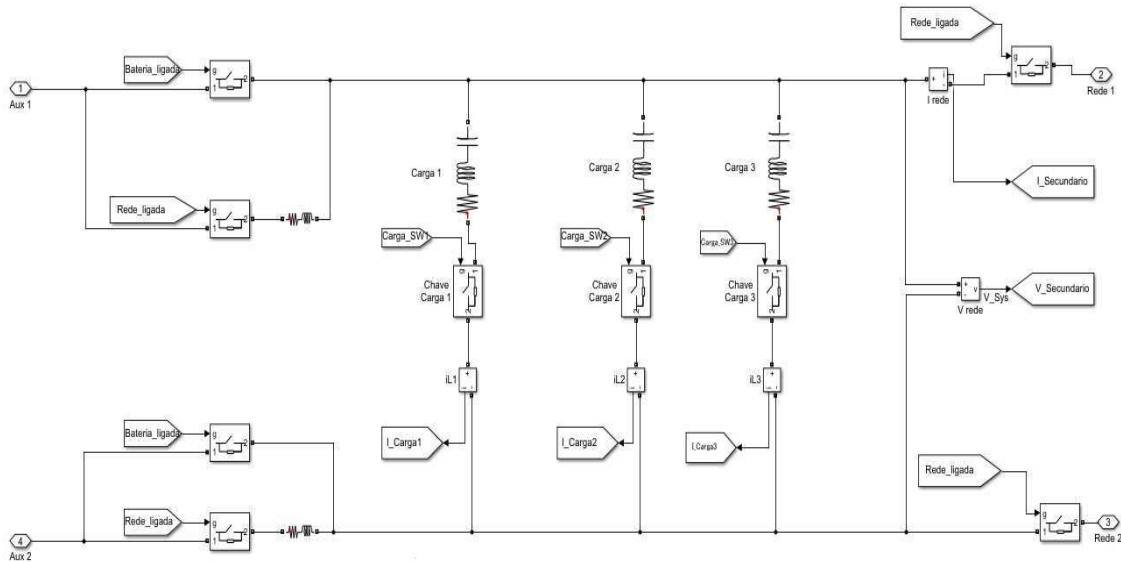


Fonte: Adaptado MathWorks®.

4.1.9 BLOCO CARGA

A seguir temos o bloco que representa a carga 1, carga 2 e carga 3, com seus respectivos acionamentos (Carga_SW1, Carga_SW2 e Carga_SW3), onde cada carga apresenta uma chave a qual é acionada quando se tem ativada a entrada *g* (*gate*), o mesmo acontece para as fontes de potências (Rede e Bateria) que são acionadas pelas suas respectivas etiquetas (Bateria_ligada e Rede_ligada) que recebem os sinais vindo do bloco de controle, sendo de acordo com o nível apresentado no *gate* será acionada ou desativada a respectiva fonte. Neste sistema proposto temos três cargas, que foram parametrizadas com 2.000 W, 3.000 W e 1.000 W, podendo ou não serem ativadas conjuntamente, tal seleção varia de acordo com a lógica de controle implementada. Os sinais Bateria_ligada e Rede_ligada vem do sinal de controle que está apresentado na figura 19 do controle e gráficos.

Figura 19: Bloco representativo das cargas.



Fonte: Adaptado MathWorks®.

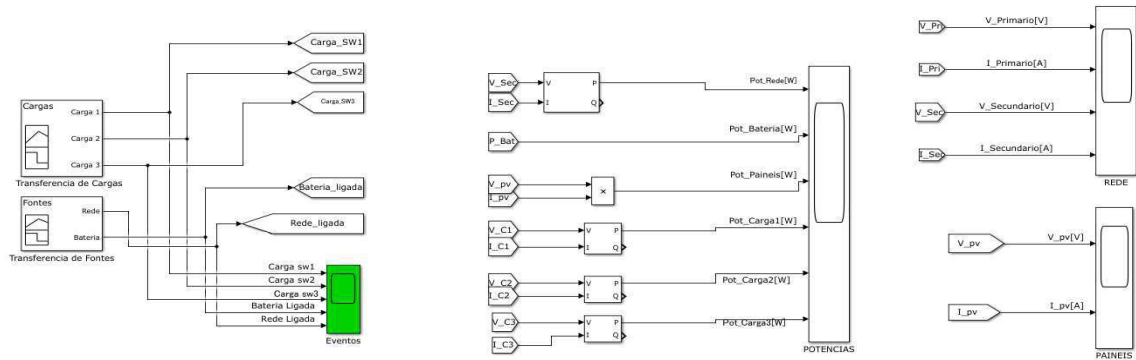
4.1.10 BLOCO CONTROLE, LÓGICA E GRÁFICOS

A seguir estão os blocos de controle para transferência entre as cargas e as fontes de potências, que se encontra na esquerda da figura 19, este bloco irá definir em quais momentos cada fonte e as cargas estarão ativadas ou desativadas, para isso cada etiqueta recebe o sinal e

o envia para o bloco das cargas apresentado anteriormente, acionando o *gate* (g) da respectiva chave e colocando em funcionamento o sistema.

Na parte central e direita da figura 20 são encontrados os esquemas para disponibilização das medições mostradas nos gráficos das potências, correntes e tensões das cargas (Carga_1, Carga_2 e Carga_3) e fontes de potências (Rede, Bateria e Painéis solares).

Figura 20: Bloco representativo do controle, lógica e gráficos das cargas e fontes.

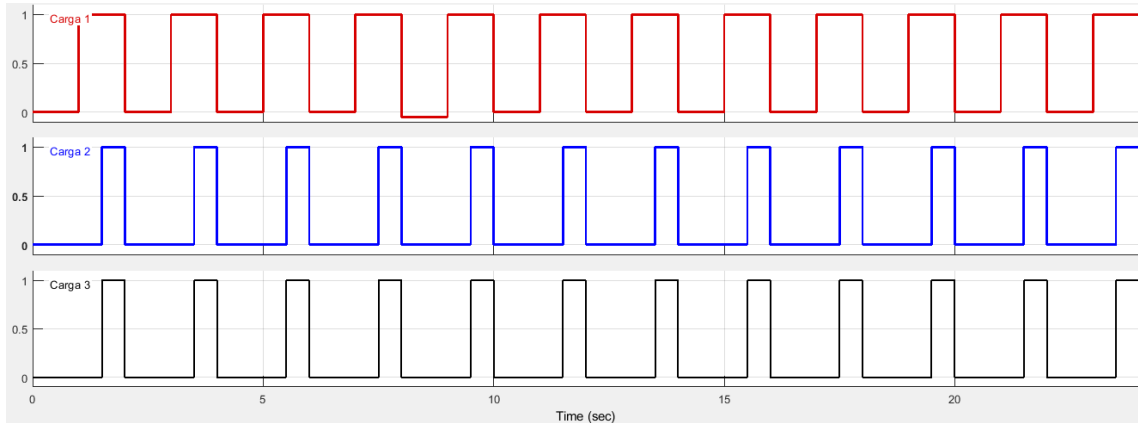


Fonte: Adaptado MathWorks®.

4.1.11 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NO AMBIENTE SIMULINK

No bloco que contém a representação da transferência da carga 1 (2.000 W), carga 2 (3.000 W) e carga 3 (1.000 W), temos os seguintes sinais de controle para acionamento e desacionamento de cada carga como mostrado na figura 21. Quando o valor atribuído for 1 (um) significa que as chaves são ativadas e assim as respectivas cargas são liberadas para serem supridas pelas fontes de potências. Já quando for representado por 0 (zero) significa que as mesmas são desativadas e as cargas saem, ou seja, não serão supridas pelo sistema. Tal lógica é aplicada pelo microcontrolador que é responsável pela seleção das cargas. O tempo simulado para os sinais foi definido de 0 a 24 segundos, assim como os níveis lógicos são definidos em 1 ou 0, pois as chaves que estão contidas no bloco “carga” funcionam de tal forma.

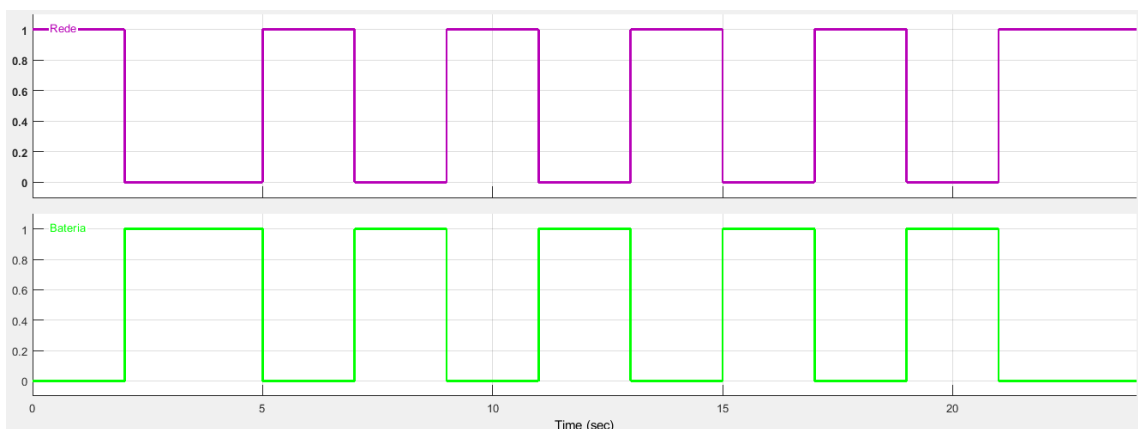
Figura 21: Sinais de controle para acionamento das cargas 1, carga 2 e carga 3.



Fonte: Adaptado MathWorks®.

Já o bloco que contém a representação da seleção das fontes de potências mostrada na Figura 22 apresenta o mesmo princípio de funcionamento que foi explicado para os sinais de controle dos acionamentos e desacionamentos das cargas, porém neste caso os sinais se referem à lógica que irá atuar nas chaves das fontes de potências (Painéis Solares, Rede Concessionária e Banco de Baterias). Na figura 22 não foi mostrado o sinal referente à fonte de potência dos painéis solares, pois nesta simulação foi utilizado o algoritmo MPPT para garantir que será extraída a todo o momento a máxima potência dos painéis solares ou algum valor próximo, portanto o sinal para os painéis solares seria sempre 1 (um) indicando que esta fonte estará sempre presente gerando potência para as cargas, não sendo necessário sua representação.

Figura 22: Sinais de controle para acionamentos das fontes de potências (Rede e Bateria).

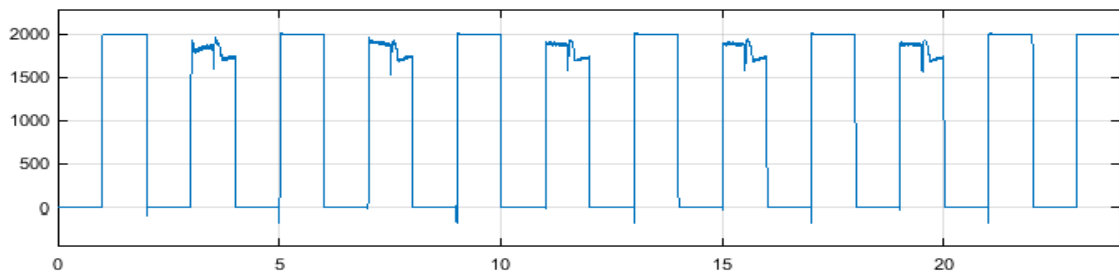


Fonte: Adaptado MathWorks®.

Nas figuras 23, 24 e 25 temos os gráficos representativos das potências da carga 1, carga 2 e carga 3, onde pode-se perceber os momentos em que as mesmas são acionadas ou

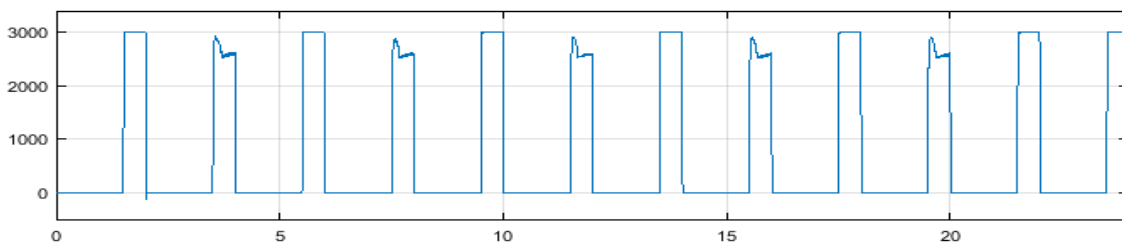
retiradas do sistema seguindo a lógica de controle implementada no microcontrolador. Percebe-se também, os momentos em que existe comutação para uma das fontes de potências (Rede ou Bateria), conforme mostrado nos gráficos onde existe essa pequena distorção no sinal. Quando está presente a fonte de potência da rede da concessionária, a mesma atenderá as potências da carga 1, carga 2 e carga 3. Porém, quando não está presente a fonte de potência da rede da concessionária, ocorrerá o processo de alívio de cargas, ou seja, seleção de qual das cargas serão atendidas pelo sistema fotovoltaico (painéis solares e bateria). Nesta simulação consideramos que os painéis fotovoltaicos sempre estarão fornecendo energia elétrica para o bloco de “cargas”, “baterias” ou injetando para a “rede da concessionária”. Também foi considerado que quando estiver presente a rede elétrica pública, o sistema de armazenamento de energia (baterias) está fora do sistema e vice versa. Quando as cargas estiverem sendo supridas pela fonte de potência dos painéis solares e essa não for suficiente para atendê-las, quem irá complementar o restante da potência será a bateria.

Figura 23: Potência na carga 1 (2.000 W).



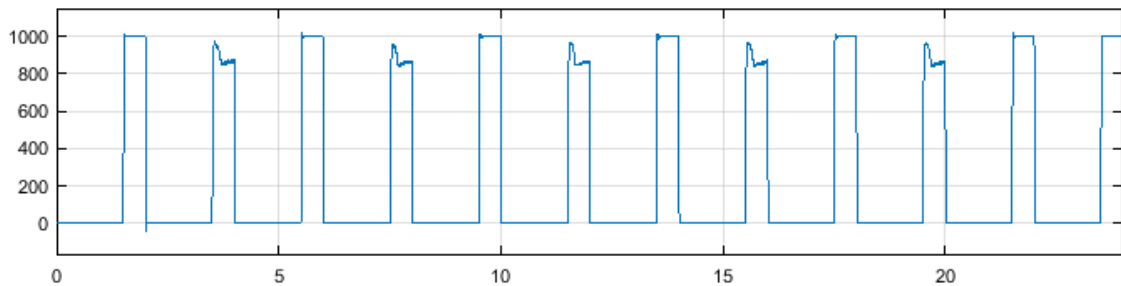
Fonte: Adaptado MathWorks®.

Figura 24: Potência na carga 2 (3.000 W).



Fonte: Adaptado MathWorks®.

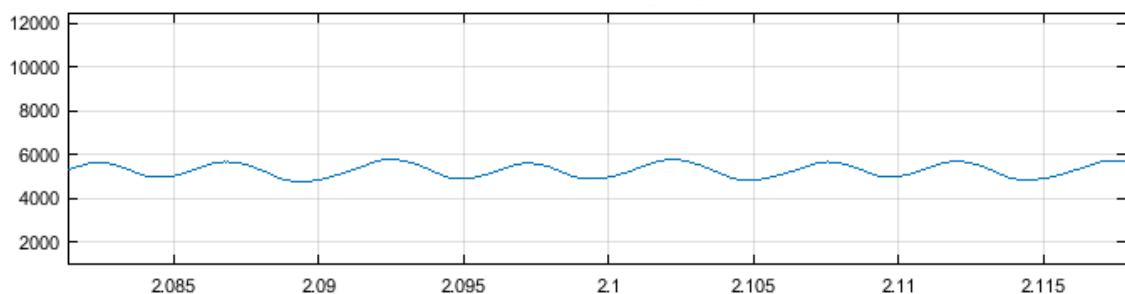
Figura 25: Potência na carga 3 (1.000 W).



Fonte: Adaptado MathWorks®.

A seguir são ilustrados nas figuras 26, 27 e 28 os gráficos das potências das fontes (Painéis Fotovoltaicos, Rede e Bateria). Verificam-se nesses gráficos os momentos em que a rede e a bateria são acionadas ou desacionadas seguindo a lógica de controle inserida no microcontrolador. Foi dado um “zoom” na escala de tempo do gráfico dos painéis fotovoltaicos para mostrar que a potência de saída se mantém sempre próxima do valor de 5.000W, devido aplicação do algoritmo MPPT, Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (do inglês, *Maximum Power Point Tracking*). Percebe-se nos gráficos que a fonte de potência da bateria (ver os picos mostrando o momento em que a mesma é inserida ao sistema) e a fonte de potência da rede pública não alimentam o bloco de cargas ao mesmo tempo. Porém, a fonte de potência dos painéis solares está sempre fornecendo potência ao sistema, ou seja, carregando as baterias do sistema de armazenamento e alimentando as cargas (quando as mesmas são inseridas ao sistema) ou injetando na rede elétrica da concessionária (quando sobra energia gerada pelo SFV e nos momentos em que a bateria está desconectada do sistema).

Figura 26: Potência de saída dos painéis fotovoltaicos (W).



Fonte: Adaptado MathWorks®.

Figura 27: Potência na rede (W).

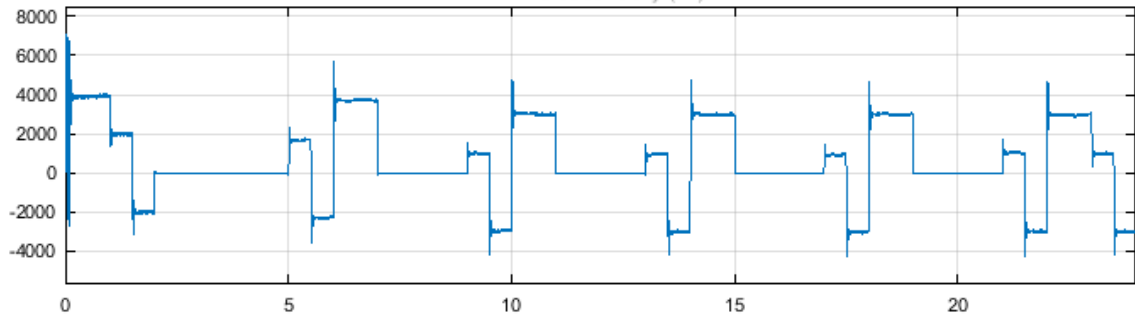
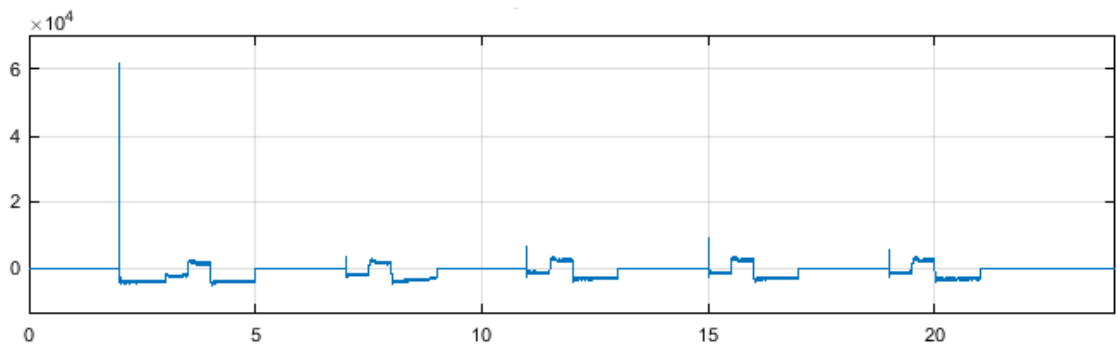


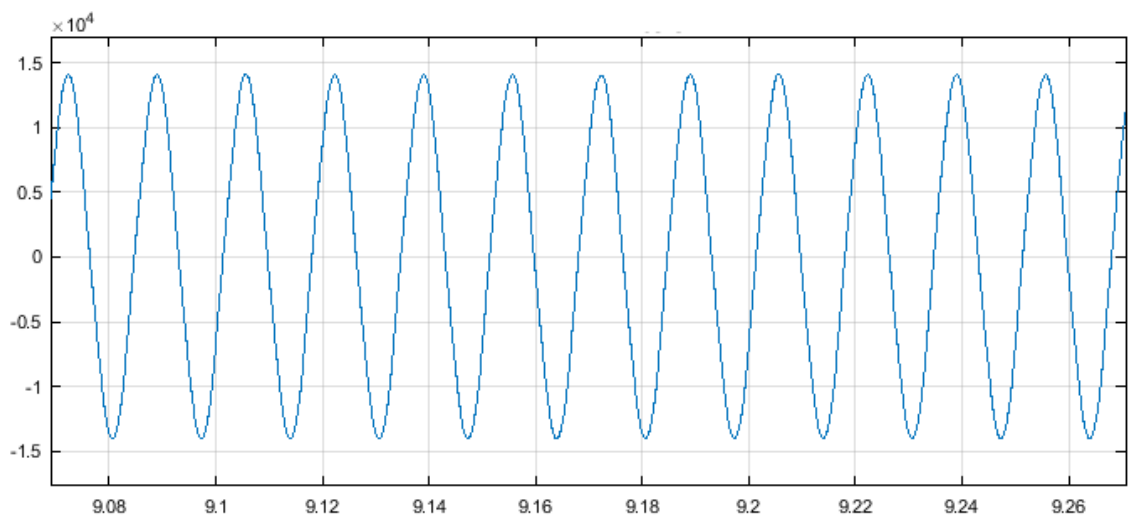
Figura 28: Potência na bateria (W).



Fonte: Adaptado MathWorks®.

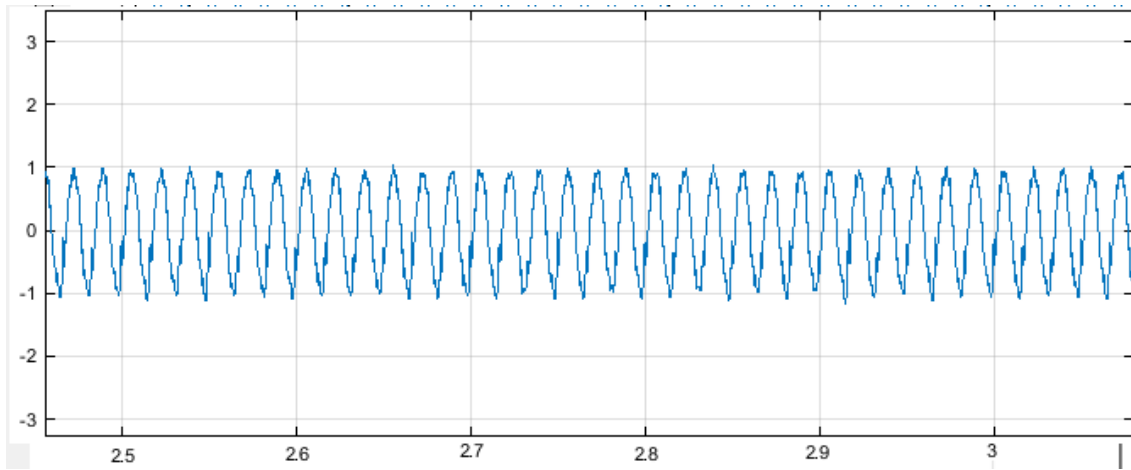
Nas figuras 29, 30, 31 e 32 estão representados, através dos gráficos, os sinais referentes às tensões e correntes nos enrolamentos primário e secundário do transformador da rede da concessionária.

Figura 29: Tensão no enrolamento primário do transformador da rede (V).



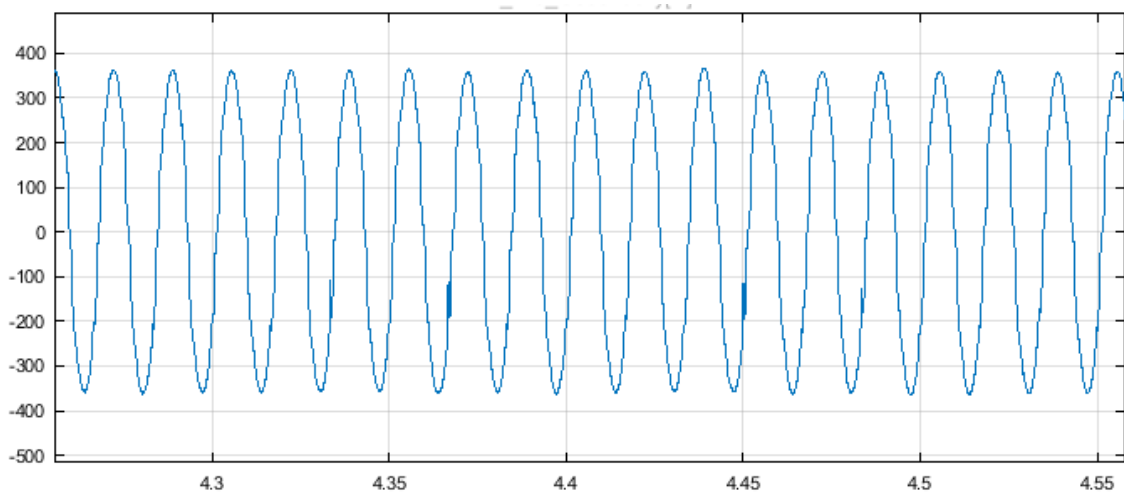
Fonte: Adaptado MathWorks®.

Figura 30: Corrente no enrolamento primário do transformador da rede (A).



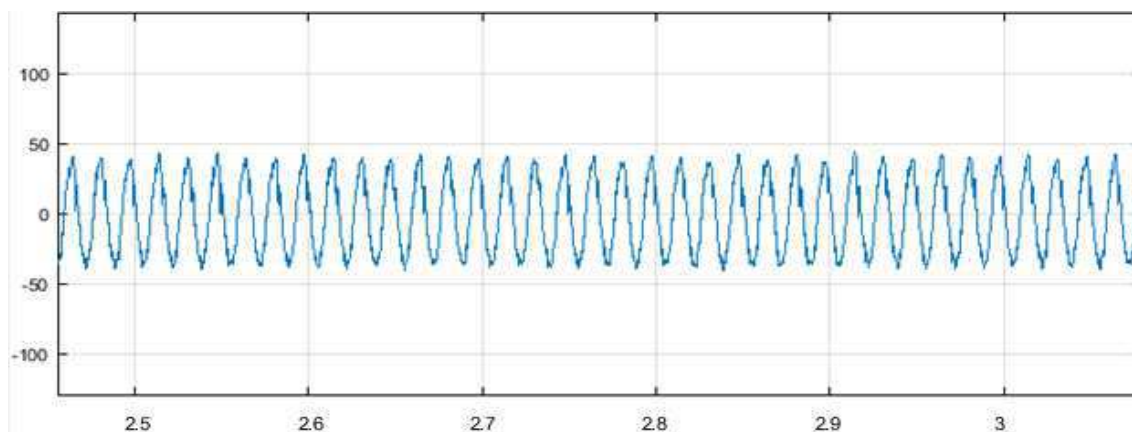
Fonte: Adaptado MathWorks®.

Figura 31: Tensão no enrolamento secundário do transformador da rede (V).



Fonte: Adaptado MathWorks®.

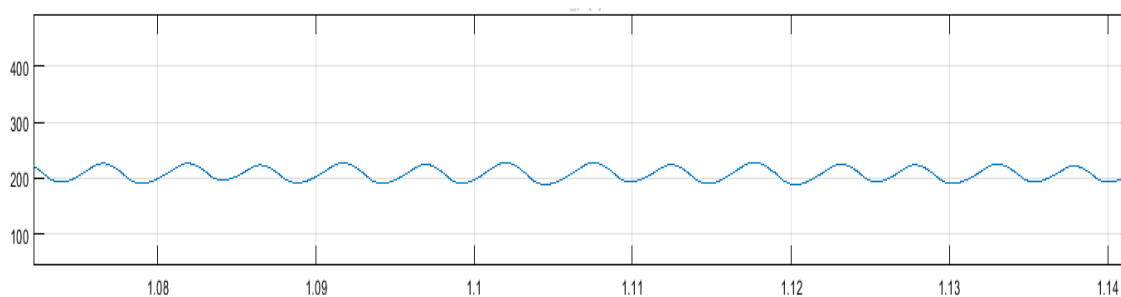
Figura 32: Corrente no enrolamento secundário do transformador da rede (A).



Fonte: Adaptado MathWorks®.*-*

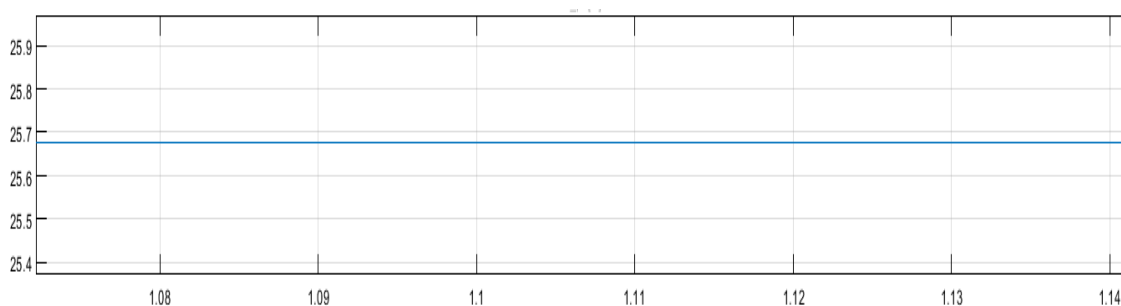
Nas figuras 33 e 34 estão os sinais referentes à tensão e corrente produzidas pelo sistema fotovoltaico, onde percebe-se que a tensão varia num limite de aproximadamente 185V a 225V e a corrente tem seu valor constante próximo dos 25,7A. Portanto, mostrando que a potência de saída dos painéis solares se mantém sempre próxima do valor 5.000W devido aplicação do algoritmo MPPT.

Figura 33: Tensão de saída dos painéis solares (V).



Fonte: Adaptado MathWorks®.

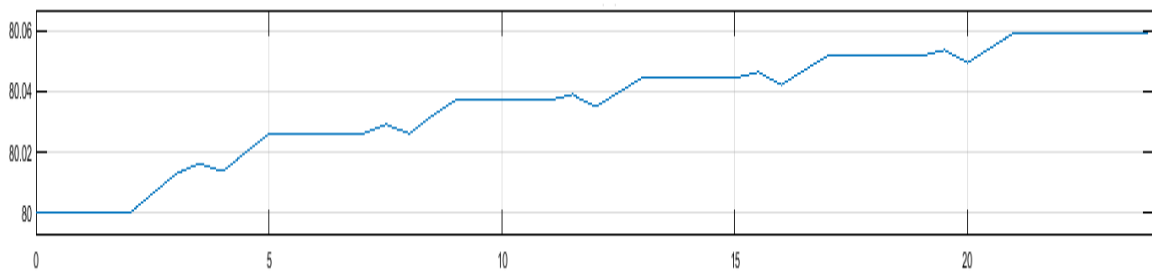
Figura 34: Corrente de saída dos painéis solares (A).



Fonte: Adaptado MathWorks®.

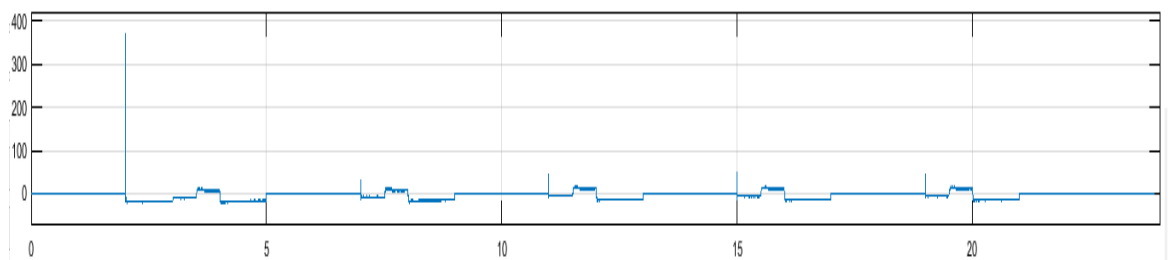
Nas figuras 35, 36 e 37 temos os gráficos referentes ao comportamento da bateria mostrando os momentos em que está atuando no sistema. Lembrando que a bateria foi parametrizada para ter capacidade nominal de (40 Ah) e o estado inicial de carga - SOC (80%). Podemos observar os pontos em que a mesma está carregando, ou seja, quando o SFV está fornecendo potência para a carga, mas há sobra de potência e a mesma servirá para carregar a bateria (ver os picos no gráfico da corrente mostrando o momento em que a mesma é inserida ao sistema). Já nos momentos em que a bateria está descarregando, ou seja, quando o SFV está fornecendo potência para a carga, mas a demanda exigida é maior que a geração, então a bateria irá complementar a potência demandada.

Figura 35: Estado de carga - SOC (%).



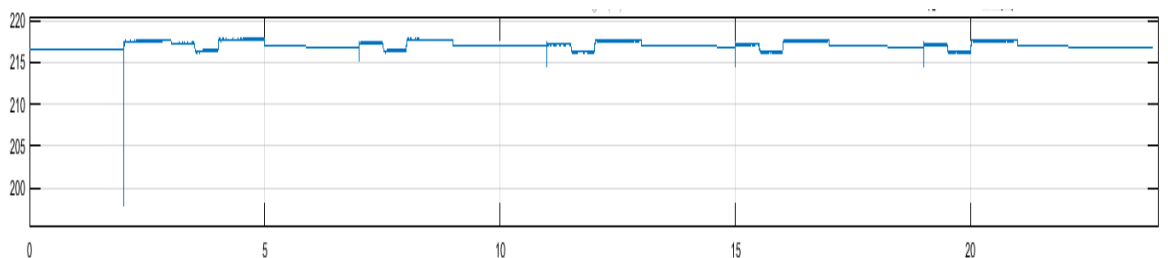
Fonte: Adaptado MathWorks®.

Figura 36: Corrente da bateria (A).



Fonte: Adaptado MathWorks®.

Figura 37: Tensão da bateria (V).

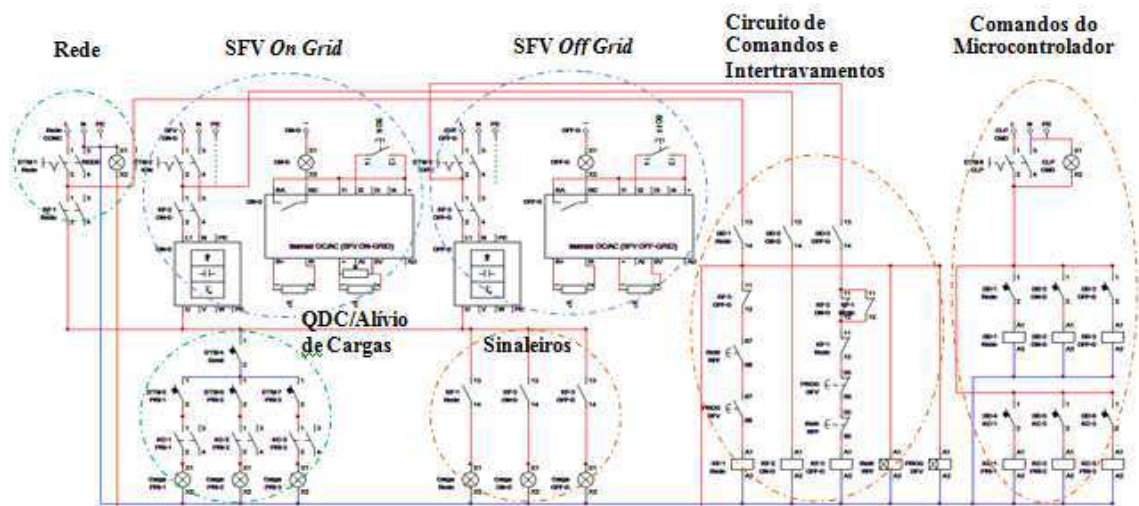


Fonte: Adaptado MathWorks®.

4.2 CIRCUITOS DE POTÊNCIA E COMANDO

Para realização da montagem do diagrama de potência e comando do sistema proposto, foi utilizado o software CADeSIMU, onde foi desenhado o diagrama elétrico o qual podemos observar na figura 38. No diagrama podemos observar as três fontes de potência identificadas por Rede, SFV On Grid e SFV Off Grid(banco de baterias), o circuito de comando e intertravamento, onde reside a lógica por trás do acionamento da carga, o circuito de comandos do microcontrolador que será o responsável por realizar a comutação(liga/desliga) das chaves de transferência para fontes e cargas, o QDC que fara a distribuição da energia elétrica proveniente das 3 fontes de energia e os sinaleiros para indicar em qual modo de operação o sistema está funcionando no momento, facilitando assim a visualização.

Figura 38: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido.



Fonte: Próprio autor.

Neste sistema temos diferentes componentes com funções distintas, os quais em conjunto irão promover o correto funcionamento do circuito, são eles: Disjuntores termomagnéticos bipolares (identificados por DTM-1 Rede, DTM-2 *ION*, DTM-3 *IOFF* e DTM-8 CLP), disjuntores termomagnéticos monopolares (identificados por DTM-4 Geral, DTM-5 PRI-1, DTM-6 PRI-2 e DTM-7 PRI-3), Inversores DC/AC (representados por SFV On

Grid e SFV Off Grid), chaves contadoras de comutacao automática (KF-1 Rede, KF-2 *ON G* e KF-3 *OFF G*), Chaves contadoras de comutação automática KF-1 Rede, KF-2 *ON G* e KF-3 *OFF G*), Relé temporizado falta de fase (identificado por Relé RFF), Botões/Chaves dos circuitos de comando (identificados por SD-1 Rede, SD-2 *ON G* e SD-3 *OFF G*), Contatos auxiliares das chaves contadoras de potências (indicados por KF-1 Rede, KF-2 *ON G* e KF-3 *OFF G*), do relé falta de fase (Relé RFF), Terminais de alimentação (A1 e A2) das bobinas das chaves contadoras (KF-1 Rede, KF-2 *ON G*, KF-3 *OFF G*) e do relé falta de fase (Relé RFF), Lâmpadas de sinalização (Rede, *On-G*, *Off-G* e CLP CMD), Lâmpadas de sinalização (Carga PRI-1, Carga PRI-2 e Carga PRI-3) e as Lâmpadas de sinalização (Carga Rede, Carga *On-G* e Carga *Off-G*).

Inicialmente o sistema se encontra fora de operação, como é possível observar nada está ligado, para iniciar a simulação dos modos de operação do sistema proposto deve-se primeiramente acionar os disjuntores termomagnéticos bipolares(DTM-1 Rede, DTM-2 *ION*, DTM-3 *IOFF* e DTM-8 CLP) referentes as 3 fontes de potência e ao circuito de comandos do microcontrolador, posteriormente acionamos os disjuntores termomagnéticos monopolares(DTM-4 Geral, DTM-5 PRI-1, DTM-6 PRI-2 e DTM-7 PRI-3) referentes ao QDC e por último realizar a ligação dos botões/chaves (SD-1 Rede, SD-2 *ON G* e SD-3 *OFF G*), estes últimos serão ligados automaticamente pelo circuito de monitoramento, controle e comando das chaves de transferência.

Para visualizar melhor as operações feitas no sistema, são utilizados sinaleiros com diferentes cores, que permite identificar qual fonte está operando no momento assim como quais cargas estão ativadas. A seguir está a relação entre as cores e os modos de operação:

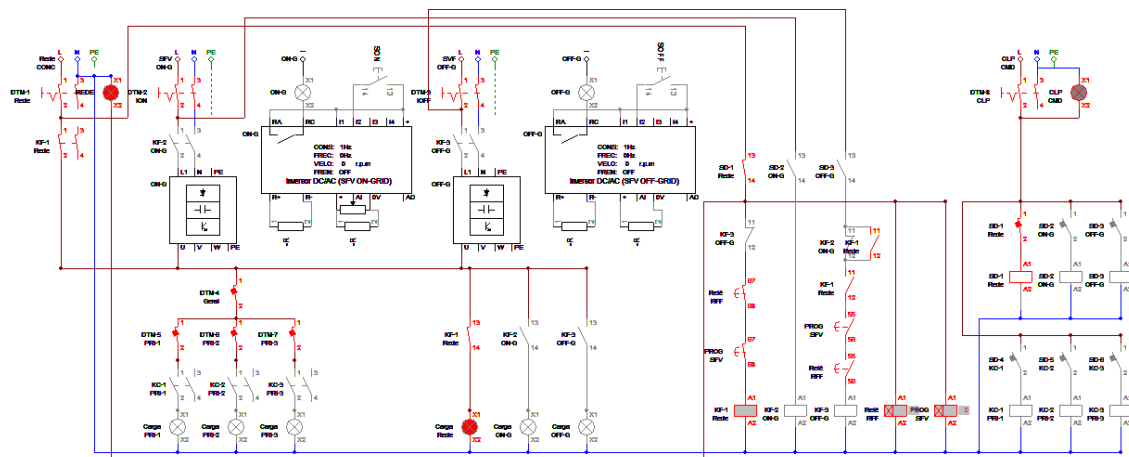
- ✓ Lâmpada **Azul**: Sinaliza que as cargas estão ativadas. Indicação de qual (Carga PRI-1, Carga PRI-2 e Carga PRI-3);
- ✓ Lâmpada **Cinza**: Circuito de comando do microcontrolador está ligado;
- ✓ Lâmpada **Vermelha**: Rede da concessionaria está funcionando e abastecendo as cargas;
- ✓ Lâmpada **Amarela**: SFV On Grid está em funcionamento, abastecendo as cargas;
- ✓ Lâmpada **Verde**: SFV *Off Grid* está em funcionamento, abastecendo as cargas;
- ✓ Lâmpada **Verde + Amarela**: SFV *On Grid* e SFV *Off Grid* estão em funcionamento, abastecendo as cargas;
- ✓ Lâmpada **Vermelha + Amarela**: Rede e SFV *On Grid* estão em funcionamento, abastecendo as cargas.

Considerando primeiramente que o sistema irá funcionar apenas com a rede ligada abastecendo as cargas, será feita uma leitura pelo circuito de monitoramento, controle e comando e o microcontrolador irá atuar para realizar os passos necessários para que as chaves comutem automaticamente, permitindo que apenas a rede esteja conectada ao sistema, tais passos irão acontecer na seguinte sequência: Após a detecção de presença de energia na rede o micro controlador irá enviar um comando para fechar as seguintes chaves:

- (SD-1 Rede) fazendo com que a bobina (A1-A2) do relé (SD-1 Rede) seja energizada;
- Com isso o contato auxiliar (SD-1 Rede) do circuito de comando ira fechar;
- Conseqüentemente, são energizadas as bobinas (A1-A2) do Relé RFF e do Programador horário (PROG SFV) que são temporizados;
- Os contatos auxiliares dos mesmos mudarão de estado, ou seja, fechando e energizando os terminais de alimentação (A1-A2) da bobina da contatora (KF-1 Rede);
- Com os passos acima a rede da concessionaria estará ativada, por último as cargas entram no sistema fechando-se (SD-4 KC-1, SD-5 KC-2 e SD-6 KC-3) fazendo com que os terminais de alimentação (A1-A2) das bobinas das contadoras (KC-1 PRI-1, KC-2 PRI-2 e KC-3 PRI-3) sejam energizadas e os contatos de forças das contadoras fechem energizando todas as cargas (Carga PRI-1, Carga PRI-2 e Carga PRI-3).

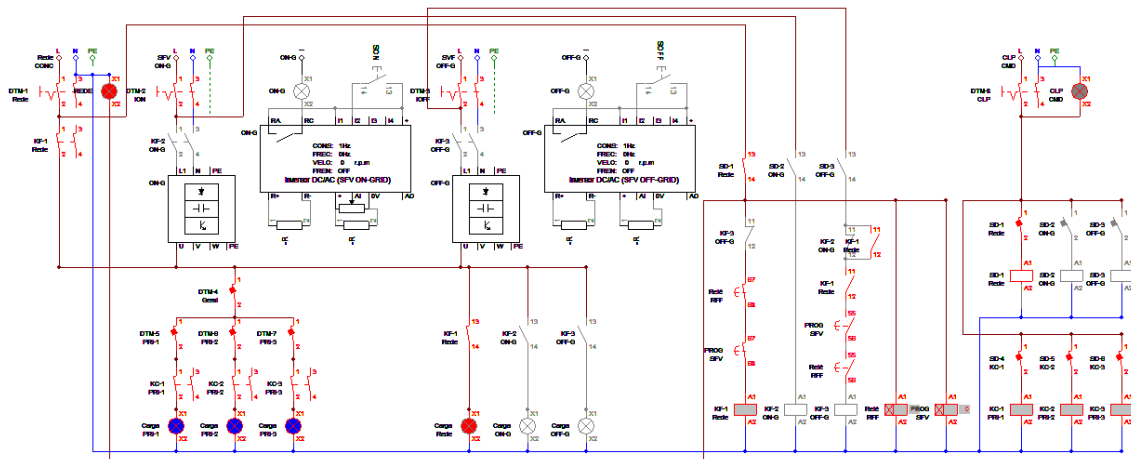
Podemos observar tal modo de operação nas figuras 39 e 40.

Figura 39: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Energização e presença da rede pública).



Fonte: Próprio autor.

Figura 40: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Energização do circuito das cargas essenciais).



Fonte: Próprio autor.

4.2.1 REDE + SFV ON GRID

Caso o circuito de monitoramento, controle e comando detecte a existência de energia sendo produzida pelos painéis solares, o mesmo irá enviar um comando para que o sistema SFV On Grid seja ativado e também abasteça as cargas, portanto o microcontrolador irá realizar o envio de um sinal para fechar as seguintes chaves:

- (SD-2 *On-G*), fazendo com que a os terminais de alimentação (A1-A2) da bobina da contatora (SD-2 *On-G*) seja energizada e com isso o contato auxiliar (SD-2 *On-G*) feche energizando os terminais de alimentação (A1-A2) da bobina da contatora (KF-2 *On-G*);
- O que faz com que os contatos de força da contatora da fonte de potência (SFV *On Grid*) sejam fechados juntamente com o contato auxiliar da lâmpada de sinalização (Carga *On-G*);
- Após os passos realizados acima teremos a presença do SFV On Grid abastecendo as cargas juntamente com a Rede, no caso em que não tenha mais incidência solar, o circuito de monitoramento, controle e comando ira atuar fazendo com que o sistema

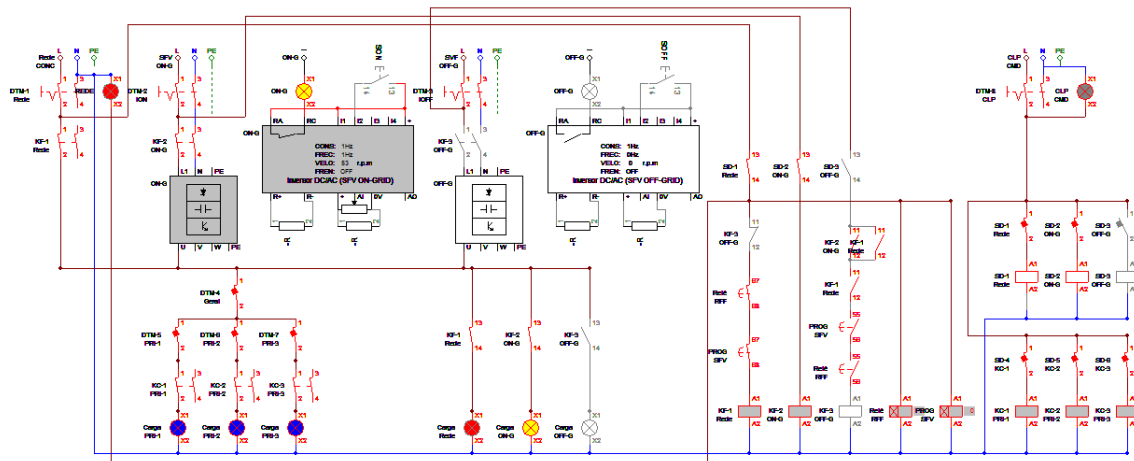
SFV On Grid saia de operação, abrindo a saída digital (SD-2 *On-G*), fazendo com que os terminais de alimentação (A1-A2) da bobina da contatora (SD-2 *On-G*) seja desenergizada;

- Conseqüentemente o contato auxiliar (SD-2 *On-G*) do circuito de comando abre desenergizando os terminais de alimentação (A1-A2) da bobina da contatora (KF-2 *On-G*);

- O que leva os contatos de força da contatora da fonte de potência (SFV *On Grid*) a abrirem, retirando-o assim do sistema.

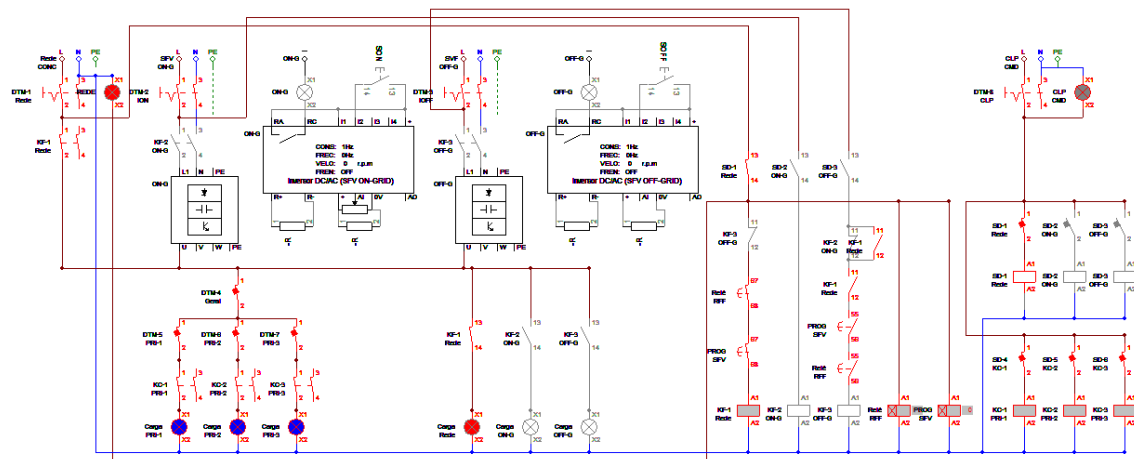
Tais situações estão evidenciadas nas figuras 41 e 42.

Figura 41: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Acionamento do SFV *On Grid*).



Fonte:Próprio autor.

Figura 42: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Desacionamento do SFV *On Grid*).



Fonte:Próprio autor.

4.1.3 SFV ON GRID + OFF GRID

Caso não exista a presença da rede elétrica da concessionária, no caso de uma falta por exemplo, o circuito de monitoramento, controle e comando irá detectar tal situação e no caso de existência de incidência solar e o banco de baterias esteja carregado, o microcontrolador irá atuar fazendo com que os sistemas SFV On Grid e o SFV Off Grid sejam ativados e abasteçam as cargas ou parte delas caso não consigam suprir toda a demanda, assim serão realizados os seguintes passos:

- Fecha (SD-3 *Off-G*), fazendo com que os terminais de alimentação (A1-A2) da bobina do relé (SD-3 *Off-G*) seja energizada;
- Consequentemente o contato auxiliar (SD-3 *Off-G*) do circuito de comando fecha e causando a energização dos terminais de alimentação (A1-A2) da bobina da contatora (KF-3 *Off-G*);
- Com isso os contatos de força da contatora da fonte de potência (SFV *Off Grid*) irá fechar, assim como o contato auxiliar da lâmpada de sinalização (Carga *Off-G*);
- Caso essas duas fontes complementares não consigam suportar o abastecimento de todas as cargas, o microcontrolador irá deixar que apenas as prioritárias sejam abastecidas, para simulação supomos que as três cargas podem ser abastecidas assim será enviado sinais fechar as chaves (SD-4 KC-1, SD-5 KC-2 e SD-6 KC-3), fazendo com que os terminais de alimentação (A1-A2) das bobinas das contadoras (KC-1 PRI-1, KC-2 PRI-2 e KC-3 PRI-3) sejam energizadas, fechando os contatos de forças das contadoras do bloco de cargas (Carga PRI-1, Carga PRI-2 e/ou Carga PRI-3) assim como, acendendo as lâmpadas de sinalização das mesmas.

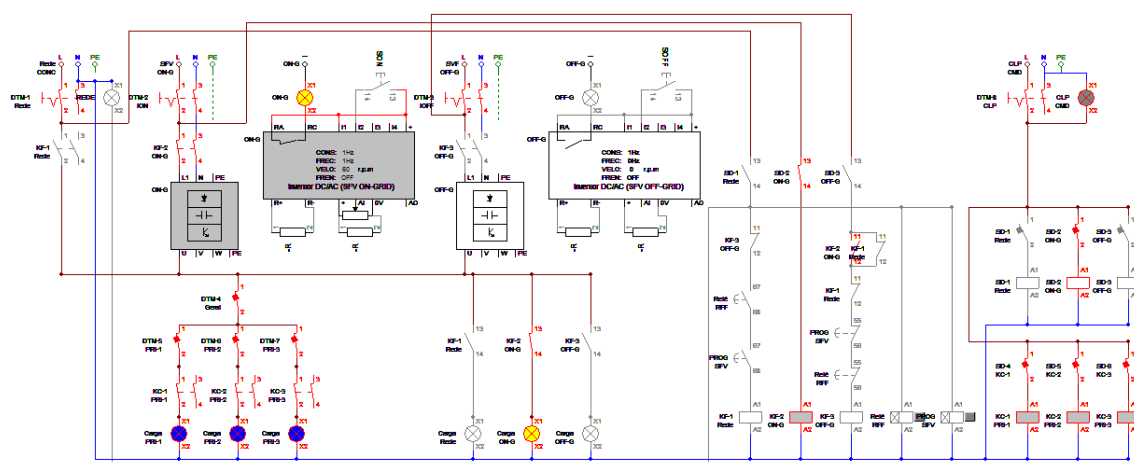
Supondo que haja ausência de energia de rede da concessionária e tal situação ocorra durante o período noturno, não teremos os painéis solares produzindo energia, sendo assim a única fonte possível para abastecer as cargas emergencialmente seriam as baterias, caso estas tenham energia armazenada e supondo que elas possam suportar toda a demanda das cargas, o microcontrolador irá atuar realizando os seguintes procedimentos:

- Desligar (SD-2 *On-G*), fazendo com que os terminais de alimentação (A1-A2) da bobina da contatora (SD-2 *On-G*) seja desenergizada e com isso o contato auxiliar (SD-2 *On-G*) do circuito de comando abra desenergizando os terminais de alimentação (A1-A2) da bobina da contatora (KF-2 *On-G*);

- Isso leva os contatos de força da contatora da fonte de potência (SFV *On Grid*) a abrir, assim como o contato auxiliar da lâmpada de sinalização (Carga *On-G*), o qual apagará sinalizando essa operação.

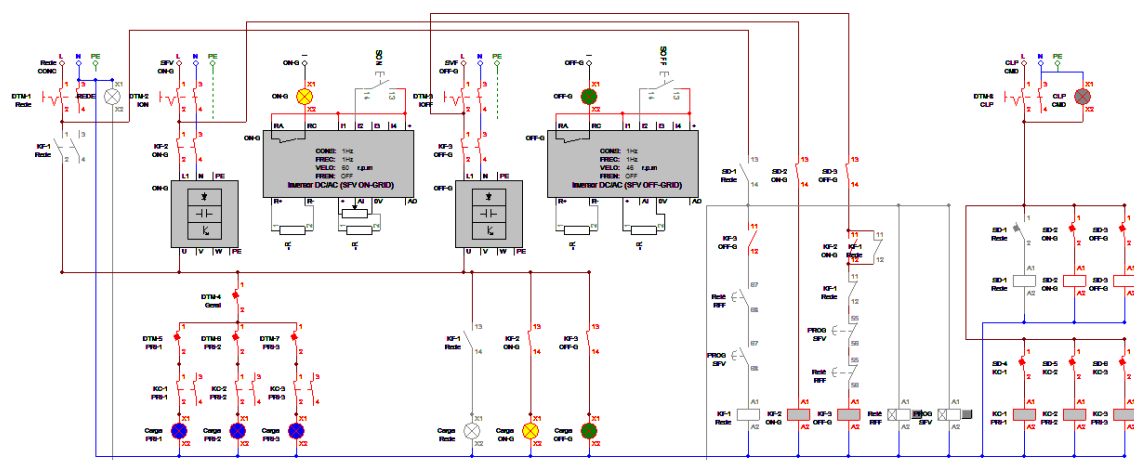
Os procedimentos acima estão evidenciados nas figuras 43, 44 e 45.

Figura 43: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Falta de rede e atuação do SFV *On Grid*).



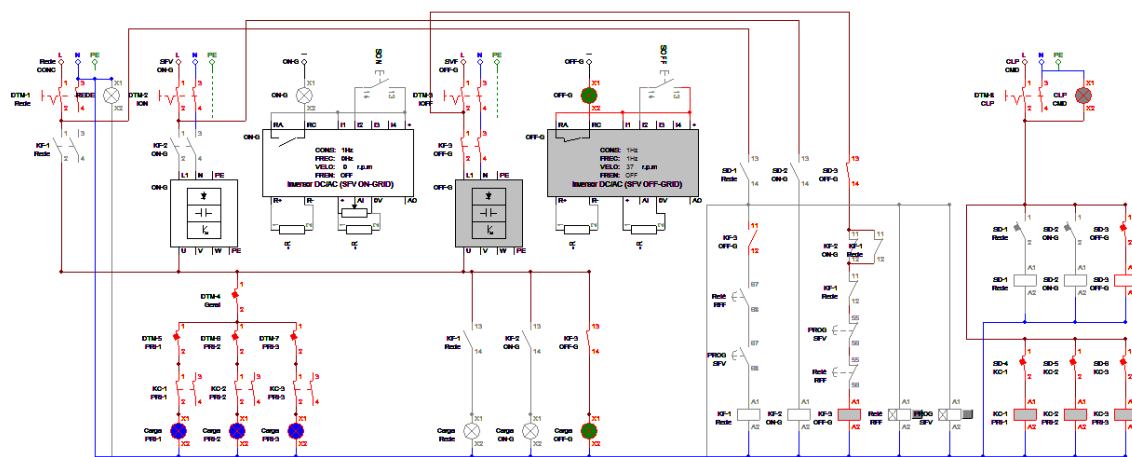
Fonte: Próprio autor.

Figura 44: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Falta de rede, atuação do SFV *On Grid* e SFV *Off Grid*).



Fonte: Próprio autor.

Figura 45: Circuito de potência, proteção, comando e sinalização do sistema híbrido (Falta de rede, desativação do SFV *On Grid* e atuação do SFV *Off Grid*).



Fonte: Próprio autor.

5 Conclusão

No transcorrer deste trabalho foi possível observar a flexibilidade que um sistema fotovoltaico híbrido associado a um sistema automático de transferência de fontes e cargas pode trazer ao consumidor, agregando de maneira positiva para se ter uma maior autonomia e gerência sob a energia que é produzida localmente, de forma a tentar reduzir a dependência da rede elétrica da concessionária, promovendo redução de custos da conta de energia elétrica.

No que foi visto durante as simulações e seus respectivos resultados, o sistema se mostrou efetivo, pois as fontes responderam dentro do padrão esperado às comutações promovidas pelas chaves de transferência promovendo a continuidade do fornecimento de energia, sendo possível observar quando as mesmas eram retiradas do sistema ou quando estavam abastecendo as cargas, estas últimas também obedeceram de forma coerente ao chaveamento proposto e a lógica de liga/desliga previamente definida.

Vale ressaltar a importância da utilização do software CADeSIMU® em complemento ao Simulink®, pois foi possível observar a lógica dos comandos para realização das comutações automáticas das chaves de transferência e além disso ter um projeto com os dispositivos de comando e proteção, o que facilita a visualização do projeto como um todo trazendo pra uma parte mais prática e realística.

O projeto respondeu como esperado, se faz agora necessário agora partir para outras etapas, que seriam a confecção de um protótipo pra testar de modo real o funcionamento de um sistema similar, aplicando em um microcontrolador a lógica necessária para comutação das chaves de transferência e também a realização de um estudo financeiro com dimensionamento dos componentes, para que se possa determinar a viabilidade econômica do projeto de acordo com a particularidade de cada consumidor.

Referências

- [1] HIRACHI, K.; MII, T.; NAKASHIBA, T.; LACKNATH, K.G.D.; NAKAOKA, M. **Utility-Interactive multi- functional bidirectional converter for solar photovoltaic power conditioner with energy storage batteries**. IEEE Transactions on industrial electronics, 0-7803-2775-6, 1996.
- [2] CANEPPELE, Fernando de Lima. **Desenvolvimento de um Modelo Fuzzy para Otimização de Energia Gerada por um Sistema Híbrido (Solar-Fotovoltaico e Eólico)**. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP. Botucatu, SP, 2007.
- [3] VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2012.
- [4] CGEE. **Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012. p.172.
- [5] FALCÃO, D. M. Smart grids e microrredes: O futuro já é o presente. **VIII Simpósio de Automação de Sistemas Eléctricos (Simpase)**, Rio de Janeiro, v.8, 2009.
- [6] Hadjsaïd, N., & Sabonnadière, J. C. (Eds.). (2013). **Smart grids**. John Wiley & Sons.
- [7] AMIN, S. M., Wollenberg, B. F., 2005, **Toward a smart grid**, IEEE Power & Energy Magazine, pp. 34-41, 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1507024/>>. Acesso em: 18 abril 2018.
- [8] U. S. Department of Energy, **Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems: results from the smart grid investment grant program**, Washington, DC. Set 2016. Disponível em: <<https://www.smartgrid.gov/>>. Acesso em: 18 abril 2018.
- [9] U. S. Department of Energy, **Home Area Networks and the Smart Grid**, Washington, DC. abr 2011. Disponível em: <<https://www.smartgrid.gov/>>. Acesso em: 18 jun. 2018.
- [10] Enel, **Estudo dos Efeitos da Implementação de Tecnologias de Redes Elétricas Inteligentes (Smart City)** - Projeto Cidade Inteligente Búzios, cap. 1, 2016.
- [11] Braga, N. B. (2014). **Gerenciamento pelo lado da demanda em áreas residenciais**. Projeto de Graduação. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [12] BOLLEN, M. H. J. **The smart grid: adapting the power system to new challenges** Synthesis lectures on power electronics. Eskilstuna: SwedenM&C, 2011.180 p.

- [13] GIRAUD, F., SALAMEH, Z.M. **Steady-state performance of a grid-connected rooftop hybrid wind-photovoltaic power system with battery storage**. Dept. of Electr. Eng., Massachusetts Univ., Lowell, MA, USA. Energy Conversion, IEEE Transactions on, Vol.16 , Issue 1, p. 1 - 7 , 2001.
- [14] ZHOU, Dan, JHIJIAN, Zhijian, LI, Yingzhi Li, FAN, Qing. **A small grid-connected PV system controlled by the PLC**. Proceedings of ISES World Congress, Vol. I - Vol. V, p. 1528-1532, 2007.
- [15] INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética. **O que é Geração Distribuída**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- [16] FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica. 2. ed.** Santa Maria: UFSM, 2010.
- [17] GREEN, M. A.; K. EMERY; D. L. KING; S. IGARI; W. WARTA. **Solar Cell Efficiency Tables (Version 16)**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 8, p.377-384, 2000.
- [18] VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R.; FILHO, E. R. **Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays**. Power Electronic, IEEE Transactions on, v. 24, n. 5, p. 1198-1208, 2009.
- [19] VILLALVA, M. G. **Conversor Eletrônico de Potência Trifásico para Sistemas Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica**. Dissertação de Doutorado, Unicamp. Campinas. 2010.
- [20] MOÇAMBIQUE, N. E. M.; MACHADO, R. Q.; OLIVEIRA, V. A. **A fuzzy PD-PI control strategy to track the voltage references of photovoltaic arrays**. 9th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA), 2011, p. 1162-1167, 2011.
- [21] MOÇAMBIQUE, N. E. M. **Aplicação de Algoritmos de Busca do Ponto de Máxima Potência e Controladores Lineares e/ou Fuzzy para a Regulação da Tensão Terminal dos Painéis Fotovoltaicos**. Tese de Doutorado, EESC-USP. São Carlos. 2012.
- [22] PEREIRA, José Claudio. **Sistemas elétricos de suprimento de energia para cargas de missão crítica**. 2010. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/sistemas-eletricos-de-suprimento-de-energia-para-cargas-de-missao-critica/>>. Acesso em: 27 abril 2018.
- [23] ELÉTRICA, Ensinando. **ATS - Automatic Transfer Switch**. Disponível em: <<http://ensinandoelettrica.blogspot.com.br/2013/02/ats-automatic-transfer-switch.html>>. Acesso em: 25 abril 2018.
- [24] PEREIRA, Jose Claudio. **Chaves de Transferência Automática: Sistemas de Baixa Tensão**. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/PDF/ATS2.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

- [25] SILVA, C. A. S. C. **Conversor CC/CC para Aplicação em Instalação Fotovoltaica**. Dissertação de Mestrado, FEUP. Porto. 2012.
- [26] INDUSTRIAIS, Soluções. **QTA para gerador**. Disponível em: <http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/energia_e_meio_ambiente/essencial-energia/produtos/geracao-de-energia/qta-para-gerador>. Acesso em: 10 jun. 2018.
- [27] Sannino, A. **Static transfer switch: analysis of switching conditions and actual transfer time**. Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. IEEE.
- [28] Schwartzberg, J.W. **De Doncker, R.W. 15 kV medium voltage static transfer switch**. Industry Applications Conference, 1995. Thirtieth IAS Annual Meeting, IAS '95. Conference Record of the 1995 IEEE.
- [29] CHAVES DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICAS - (CHAVES REVERSORAS) DISPONÍVEL EM: < HTTP: [HTTP://WWW.JOSECLAUDIO.ENG.BR/ENERGIA/ATS](http://www.joseclaudio.eng.br/energia/ats)> ACESSO EM: 5 JUN. 2018.
- [30] INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética. **O que é Geração Distribuída**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em: 29 abril 2018.
- [31] **O que é Geração Distribuída**. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida.html>>. Acesso em: 29 abril 2018.
- [32]INDUSTRIAIS, Soluções. **QTA para gerador**. Disponível em: <http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/energia_e_meio_ambiente/essencial-energia/produtos/geracao-de-energia/qta-para-gerador>. Acesso em: 10 jun. 2018.