



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU



MÁRCIO AUGUSTO MENDES

ACESSO DE MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUIDA AOS
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA REGIÃO DOS
INCONFIDENTES

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Ouro Preto, 2015

MARCIO AUGUSTO MENDES

**ACESSO DE MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUIDA AOS
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA REGIÃO DOS
INCONFIDENTES**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves

Ouro Preto

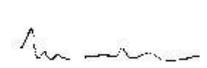
Escola de Minas – UFOP

Junho/2015

Monografia defendida e aprovada, em 02 de julho de 2015, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves - Orientador



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Professor Convidado



Prof. Dr. Sávio Augusto Lopes da Silva - Professor Convidado

“Que homem é o homem que não torna o mundo melhor?”

Do filme: “A Cruzada”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter colocado em minha vida todas as pessoas que tive oportunidade de conviver, relacionar e conhecer, pois isso me proporcionou experimentar diversos tipos de sentimentos, sensações, muitas maneiras de ver a vida e aprender com ela.

À Camila Mendes, minha esposa, que sempre deu o suporte necessário para que eu pudesse escolher a melhor maneira de trilhar meus caminhos.

Aos meus irmãos Herbert, Geraldo, Vitor, Ana Cristina, que nos momentos mais difíceis sempre estiveram presentes.

Ao meu pai que nunca deixou de dar lições de coragem, força, alegria e perseverança, mesmo em seus últimos momentos ao meu lado.

À minha mãe que na pior das situações ainda sorri, mostrando que a vida é muito mais e maior do que podemos imaginar.

Aos professores que cumprem a nobre tarefa de nos trazer à luz do conhecimento.

Aos grandes colegas de curso que se tornaram amigos e companheiros de jornada.

Aos funcionários da Ufop que sempre mostraram carinho e respeito pelos alunos.

À Ufop que deu condições para que eu chegasse até aqui.

À Cemig Distribuição ter sido um local proporciona condições aprendizado e sobrevivência.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo relativo à normatização brasileira, sobre o sistema de captação da luz solar através de módulos fotovoltaicos, para a geração de energia elétrica, de forma direta, conectado à rede de distribuição de energia elétrica da Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição SA, CEMIG D, na região dos inconfidentes em Minas Gerais. Nesse estudo, é apresentado o processo de geração de energia elétrica através de uma célula fotovoltaica. São abordados os conceitos de geração distribuída e as classificações, de acordo com a Resolução Normativa 482 de 17 de Abril de 2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, dessa geração, microgeração e minigeração distribuídas, para acesso às redes de distribuição de energia elétrica. Está inserida uma ilustração da linha do tempo, desde 2008, do processo de certificação, estudos e normatização técnica para tornar possível o processo de geração distribuída no Brasil e seus aprimoramentos até o presente momento. Nesse contexto, é abordado o processo de compensação de energia e são descritos os componentes básicos para acesso às redes de distribuição e suas especificações de acordo com as normas vigentes. Em seguida, apresenta-se um estudo das normas da concessionária de energia elétrica para acesso às suas redes de distribuição, fundamentado na Resolução Normativa citada anteriormente. Para ilustrar uma geração distribuída com acesso à rede, apresentam-se figuras contendo fotos de um caso real. O acesso às redes demanda um tempo considerável desde a solicitação de acesso até a aprovação do ponto de conexão e efetiva ligação. O acesso de minigeração e microgeração de energia às redes de distribuição representa um grande avanço no sistema de distribuição e geração de energia no Brasil, mas ainda necessita de aprimoramentos constantes em suas regras, prazos e limites. É possível observar que as normas relativas à geração distribuída avançaram significativamente, que a microgeração e minigeração demandam pouca alteração no sistema de distribuição de energia por parte da concessionária. Além disso, traz benefícios ao meio ambiente e reforça as questões de como deverão ser as redes do futuro, com necessidade de maior interatividade entre a distribuidora e os consumidores de energia elétrica.

Palavras-Chave: Geração Distribuída, energia elétrica, Compensação de energia, fotovoltaico, distribuição de energia.

ABSTRACT

The present work presents a study about the Brazilian normatization of systems of sun light capitation with photovoltaic modules for generation electric energy, connected to distribution grid energy of Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição S.A., CEMIG D, on region of the Inconfidentes in Minas Gerais. In This study is presented the process of electrical generation with a photovoltaic cell. The concepts of distributed generation and classifications are discussed in accord with the Resolução Normativa 482 April 17, 2012 of the Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, minigeneration and microgeneration distributed, for access to distribution energy grid . There is an illustration of time line, since 2008, of certification process, study and technical normatization to turn possible the process of distributed generation in Brasil and your improvement until the present moment. In this context, is discussed the process of energy compensation and describe the components basics for access to distribution energy grid and specifications of accord with valid norms. Then, presents a study of norms of the concessionary of electrical energy based on Resolução Normativa cited above. For illustrate a distributed generation are presented figures with photos of a real case. The access demand much time since the solicitation until the connection. The access of minigeneration and microgeneration represents a big advance of system energetic of Brazil, but there are the necessity of constants improvements in your rules, deadlines and limits. Is it possible observe that the norms related to the distributed generation were improved, that the minigeneration and microgeneration demand less modifications in system of distribution grid energy to the concessionary. Furthermore, brings benefits to the environment and reinforces the questions of how will be the nets of the future and how will necessary more interactivity between electrical concessionary and energy consumers.

Keywords: Distributed Generation, photovoltaic, electrical energy, energy distribution, energy compensation.

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BT- Baixa Tensão

CA – Corrente alternada

CC – Corrente contínua

Cemig D – Companhia Energética de Minas Gerais Distribuio

DUB – Diagrama Unifilar Básico

GD – Gerao Distribuída

MPPT - *Maximum power point tracking* - Rastreamento do ponto de máxima potência

Strings – Séries de módulos conectados

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 2.1 – Esquema de uma célula fotovoltaica.....	16
Figura 3.1 – Cenário evolutivo da GD no Brasil.....	19
Figura 3.2: – Sistema de Compensação de Energia Elétrica.....	20
Figura 4.1: – Acesso de Minigeração e Microgeração.....	22
Figura 4.2: – Procedimentos e etapas de acesso.....	23
Figura4.3: – Forma de conexão do acessante (através de inversor) à rede de BT da CemigD.....	25
Figura 4.4: – Disposição simplificada do medidor bidirecional.....	26
Figura 4.5: – Curva de operação do sistema de geração distribuída em função da frequência da rede para desconexão por sobre/subfrequência.....	28
Figura 4.6: – Diagrama Unifilar Basico DUB.....	31
Figura 4.7: – Linha do Tempo da Normatização Brasileira de Geração Distribuída.....	32
Figura 5.1: – Medidor indicando fluxo reverso de energia.....	33
Figura 5.2 – Medidor indicando fluxo direto de energia.....	34
Figura 5.3: – Diagrama de Blocos inversor ABB Power One Uno.....	35
Figura 5.4: – Dados do inversor.....	36
Figura 5.5: – Inversor Instalado Itabirito MG.....	37
Figura 5.6: –Módulos instalados Itabirito MG.....	38
Figura 5.7:- Placa carcteristica dos módulos.....	39
Figura 5.8: - Faturas de Energia Elétrica Cemig de um sistema de microgeração da região dos Inconfidentes.....	40
Tabela 4.1: - Forma de Conexão em Função da Potência.....	24

SUMÁRIO

1	Introdução	11
1.1	Objetivo geral.....	12
1.2	Objetivo específico.....	12
1.3	Justificativa do Trabalho	12
1.4	Metodologia proposta.....	13
1.5	Estrutura do trabalho	13
2	Energia Solar Fotovoltaica	15
2.1	Definição	15
2.2	Células e módulos fotovoltaicos	16
2.2.1	Silício monocristalino	17
2.2.2	Silício policristalino.....	17
2.2.3	Filme Fino ou Silício amorfo.....	18
2.3	Inversores	18
3	Produção distribuída.....	19
3.1	Sistema de compensação de energia elétrica	20
4	O Acesso de Minigeração e Microgeração	22
4.1	Microgeração distribuída	22
4.2	Minigeração distribuída	22
4.3	Procedimentos de acesso.....	23
4.3.1	Solicitação de acesso	24
4.4	Características do sistema de distribuição Cemig D em baixa tensão (BT)	24

4.5	Forma de conexão	25
4.6	Conexão de geradores por meio de inversores.....	25
4.7	Os sistemas de medição	26
4.8	Requisitos de proteção para a conexão	27
4.9	Requisitos de qualidade.....	27
4.10	GD com inversores.....	28
4.11	Fator de potência	29
4.12	Requisitos de Segurança	30
4.12.1	Perda de tensão da rede.....	30
4.12.2	Variações de tensão e frequência.....	30
4.12.3	Proteção contra ilhamento	30
4.12.4	Reconexão	31
4.12.5	Aterramento	31
4.12.6	Proteção contra curto-circuito.....	31
4.12.7	Religamento automático da rede.....	31
4.12.8	Dispositivo de seccionamento visível DSV.....	32
5	Ilustração de um caso real	34
5.1	Inversor utilizado	35
6	Considerações Finais.....	42
6.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	43
7	Bibliografia	44

1 Introdução

Atualmente, a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis constitui uma tendência verificável em diversos países, inclusive com a concessão de incentivos à geração distribuída de pequeno porte.

Os estímulos à geração distribuída (geralmente localizada próxima aos centros de carga) justificam-se pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico: a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a redução no carregamento das redes; a redução de perdas e a diversificação da matriz energética, entre outros.

Em âmbito nacional, os debates acerca da geração de energia elétrica revestem-se de maior relevância na medida em que, ao longo dos anos, a evolução demográfica e o crescimento da atividade econômica têm resultado num constante aumento do consumo de energia elétrica no País.

Diante desse quadro, é preciso pensar em alternativas que respondam à necessidade de expansão e diversificação do parque gerador elétrico do país – e é nesse contexto que estão inseridas as pequenas centrais geradoras (micro e minigeração distribuída). AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL, 2014).

Após entrar em vigor a Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012, tornou-se possível o acesso às redes de distribuição de energia elétrica por parte das pequenas centrais geradoras.

De acordo com essa resolução, as distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais.

Assim, como o estudo tem o foco na região dos Inconfidentes e a concessionária distribuidora de energia dessa região é a Cemig D, Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição LTDA, faz-se, também, necessário o estudo da norma dessa empresa.

Para isso, é necessário abordar o tema geração de energia solar fotovoltaica, produção distribuída, processo de compensação de energia, além de descrever os componentes básicos de um sistema de microgeração e minigeração distribuída para que seja possível detalhar os requisitos necessários para acesso ao sistema de distribuição de energia elétrica na região dos inconfidentes, dentro dos padrões e normas impostos pela Resolução Normativa Aneel 482, de 17 de abril de 2012 e a Norma de Distribuição Cemig ND 5.30 de novembro de 2012, e

finalmente, mostrar, como ilustração, um caso real de ligação, consumo e compensação de energia na região dos inconfidentes.

1.1 Objetivo geral

Estudar os requisitos para acesso de microgeração e minigeração de energia elétrica solar fotovoltaica no sistema distribuição de energia elétrica da Cemig D na região dos Inconfidentes.

1.2 Objetivo específico

- Abordar geração de energia solar fotovoltaica
- Caracterizar o processo de produção distribuída
- Abordar o processo de compensação de energia
- Descrever os componentes básicos de um sistema de microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica.
- Verificar os requisitos para adequação de unidades consumidoras de energia elétrica para acesso como mini e microgeradoras de energia solar fotovoltaica, no âmbito da Resolução 482 da Aneel e das normas da concessionária de distribuição de energia elétrica da região dos inconfidentes, a Cemig D, Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição.

1.3 Justificativa do Trabalho

A busca por alternativas sustentáveis que possam ser aplicadas no dia a dia tem se tornado comum entre as pessoas, a possibilidade de geração de energia limpa, gratuita e silenciosa, através de módulos solares, mostra-se mais acessível após a importante inovação trazida pela Resolução Normativa nº 482/2012 Aneel, um sistema que possibilita gerar energia elétrica e permite que a energia excedente gerada seja retornada para rede de distribuição, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente até o momento em que essa energia será demandada novamente da distribuidora.

Essa alternativa chamou a atenção do autor para as possibilidades que isso pode trazer tanto para a vida profissional de um Engenheiro de Controle e Automação, quanto para a elaboração de um trabalho acadêmico.

O interesse pelo tema foi tomando maiores dimensões ao se discutir o assunto frequentemente no laboratório de Luminotécnica da Universidade Federal de Ouro Preto, além do autor, em seu trabalho, ter começado a participar do processo de vistoria e aprovação de acesso de microgeração e minigeração em redes de distribuição de energia na região dos Inconfidentes pela Cemig D, Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição LTDA.

O presente trabalho pode ajudar no melhor entendimento dos requisitos para acesso às redes de distribuição, a normatização, o arranjo físico, os tipos de equipamentos e alguns parâmetros que esses devem ter.

1.4 Metodologia proposta

Revisão bibliográfica da energia solar fotovoltaica, processos de produção distribuída, estudo do sistema de compensação de energia, pesquisa em normas dos equipamentos que compõem um sistema de geração distribuída conectado à rede, estudo da Resolução Normativa Aneel N^o 482, de 17 de Abril de 2012 em paralelo com a Norma de Distribuição Cemig D ND 5.30 - Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig – Conexão em Baixa Tensão.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho foi dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta um contexto introdutório sobre o trabalho desenvolvido. O capítulo 2 “Energia Solar Fotovoltaica” aborda a geração de energia através de módulos e filme fotovoltaico, descrevendo o efeito físico do processo, os elementos que são utilizados para se obter esses efeitos e o equipamento de interface para uso de cargas de corrente alternada. O capítulo 3 “Produção Distribuída” aborda a produção distribuída e a compensação de energia, discorre sobre as vantagens da produção distribuída e suas vantagens quando conectada à rede de distribuição, apresenta uma ilustração sobre o cenário evolutivo da geração distribuída no Brasil e finalmente, apresenta uma descrição do processo de compensação de energia trazido pela Resolução Normativa 482/2012 Aneel. O capítulo 4 “O Acesso de Minigeração e Microgeração” descreve o processo de acesso de microgeração e minigeração distribuída na Cemig, mostra os requisitos e parâmetros que são ensaiados em equipamentos, requisitos de segurança, e faz um paralelo entre Cemig D e Aneel com relação a prazos para permissão de acesso. O capítulo 5 “Ilustração de um caso real” apresenta, através de figuras, os elementos de um acesso de microgeração na região dos Inconfidentes, na cidade de Itabirito, MG, para melhorar a

visualização por parte do leitor dos componentes do sistema e a forma de compensação através da fatura de energia. O capítulo 6 “Considerações Finais”

2 Energia Solar Fotovoltaica

2.1 Definição

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre através de efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma força eletromotriz, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, através do uso de células solares.

Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido a características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

Além dos processos térmicos descritos acima, a radiação solar pode ser diretamente convertida em energia elétrica, por meio de efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro se caracteriza pelo surgimento de uma força eletromotriz, provocada pela junção de dois metais, quando tal junção está a uma temperatura mais elevada do que as outras extremidades dos fios. Embora muito empregado na construção de medidores de temperatura, seu uso comercial para a geração de eletricidade tem sido impossibilitado pelos baixos rendimentos obtidos e pelos custos elevados dos materiais.

O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais apropriados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é

medida pela proporção da radiação solar incidente na superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25% (ANEEL, 2002).

2.2 Células e módulos fotovoltaicos

Os módulos são compostos de células solares de silício. Elas são semicondutoras de eletricidade porque o silício é um material com características intermédias entre um condutor e um isolante.

O silício apresenta-se normalmente como areia. Através de métodos adequados obtém-se o silício em forma pura. O cristal de silício puro não possui elétrons livres e, portanto, é um mau condutor elétrico. Para alterar isto acrescentam-se porcentagens de outros elementos. Este processo denomina-se dopagem. Mediante a dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou material com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas acrescentando boro ao invés de fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, déficit de elétrons ou material com cargas positivas livres (silício tipo P).

Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P (ver Figura 2.1). Separadamente, ambas as capas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, exatamente na união P-N, gera-se um campo elétrico devido aos elétrons do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P. Ao incidir a luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons que a integram chocam-se com os elétrons da estrutura do silício dando-lhes energia e transformando-os em condutores.

Devido ao campo elétrico gerado na união P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada "P" para a camada "N". Por meio de um condutor externo, conecta-se a camada negativa à positiva. Gera-se assim um fluxo de elétrons (corrente elétrica) na conexão. Enquanto a luz continuar a incidir na célula, o fluxo de elétrons se manterá. A intensidade da corrente gerada variará proporcionalmente conforme a intensidade da luz incidente. Cada módulo fotovoltaico é formado por uma determinada quantidade de células conectadas em série. Como se viu anteriormente, ao unir-se a camada negativa de uma célula com a positiva da seguinte, os elétrons fluem através dos condutores de uma célula para a outra. Este fluxo repete-se até chegar à última célula do módulo, da qual fluem para o acumulador ou a bateria. Cada elétron que abandona o módulo é substituído por outro que regressa do acumulador ou da bateria.

O cabo da interconexão entre módulo e bateria contém o fluxo, de modo que quando um elétron abandona a última célula do módulo e encaminha-se para a bateria outro elétron entra na primeira célula a partir da bateria. É por isso que se considera inesgotável um dispositivo fotovoltaico. Produz energia elétrica em resposta à energia luminosa que entra no mesmo. (NASCIMENTO, 2004).

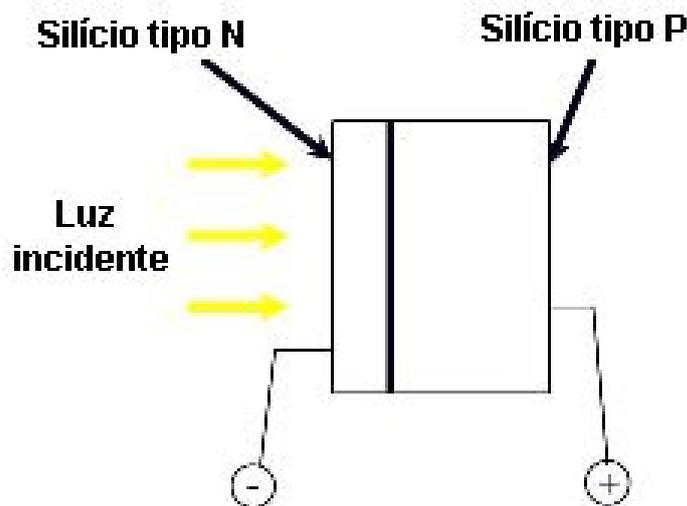


Figura 2.1 – Esquema de uma célula fotovoltaica

Fonte: NASCIMENTO, 2004

Existem basicamente três tipos de células, conforme o método de fabricação:

2.2.1 Silício monocristalino

Estas células obtêm-se a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas finas (0,4-0,5 mm de espessura). A sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é superior a 12%.

2.2.2 Silício policristalino

Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício arrefece lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal. Forma-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é ligeiramente menor do que nas de silício monocristalino.

2.2.3 Filme Fino ou Silício amorfo

Estas células são obtidas por meio da deposição de camadas muito finas de silício ou outros materiais semicondutores sobre superfícies de vidro ou metal. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade varia entre 5% e 7%. (ENERGIAS ALTERNATIVAS, 2014).

2.3 Inversores

São dispositivos elétricos ou eletromecânicos capazes de converter um sinal elétrico CC (corrente contínua) variável produzido pelos módulos em sinal elétrico CA (corrente alternada), em tensão adequada (a mesma da rede elétrica) e com frequência e formato de onda o mais próximos da corrente da rede elétrica, no caso de sistemas interligados. Muitos inversores oferecem sistemas de medição com envio de dados por rádio ou cabo para um servidor e deste para a Internet. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE,2012).

3 Produção distribuída

A chamada produção distribuída é constituída pelos módulos fotovoltaicos montados diretamente nas edificações ou em outros locais, tais como coberturas de estacionamentos, áreas livres etc. Essas edificações serão alimentadas pela energia elétrica produzida por estes módulos, através de um inversor cc/ca, concomitantemente com a rede elétrica de distribuição em baixa tensão na qual estão interligadas.

As principais vantagens desses sistemas são:

- A energia é produzida junto à carga, diminuindo assim perdas nas redes de transmissão e de distribuição;
- A produção de energia elétrica ocupa um espaço já utilizado, uma vez que esta é integrada à edificação;
- Existe a coincidência no consumo, principalmente em se tratando de prédios comerciais onde a maior utilização acontece no horário de maior produção de energia pelos módulos;
- O sistema possui modularidade, ou seja, pode ser ampliado conforme haja aumento da carga da edificação, se houver espaço para isso;
- A montagem do sistema pode substituir materiais de revestimento e de cobertura;
- É uma fonte de produção de energia elétrica inesgotável, que está disponível praticamente em todos os locais e produz energia limpa, silenciosa e renovável.

Nas instalações residenciais conectadas à rede, pode-se utilizar tanto a energia fotogerada como a convencional. Nesse tipo de conexão, não há a necessidade de acumuladores de energia (baterias), pois quando se tem um consumo elétrico maior que a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, a rede irá fornecer a energia necessária para o perfeito funcionamento da edificação. Ao contrário, quando se tem um consumo baixo ou quando os módulos produzem acima do que está sendo consumido pela edificação, o excesso de energia elétrica é injetado na rede de distribuição da concessionária. (JUNIOR, 2005).

A Figura 3.1 mostra o cenário evolutivo da geração distribuída no Brasil dando uma ideia de como deverão ser os futuros inversores a serem inseridos nas redes e como o tema evoluiu a partir de 2012, um novo cenário que está se desenhando com essa nova modalidade de acesso.



Figura 3.1 – Cenário evolutivo da GD no Brasil

Fonte: ANEEL, 2014

3.1 Sistema de compensação de energia elétrica

Uma importante inovação trazida pela Resolução Normativa nº 482/2012 é o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Esse sistema permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora. Dessa forma, a energia elétrica gerada por essas unidades consumidoras é cedida à distribuidora local, sendo posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica dessa mesma unidade consumidora (ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade). Na prática, se em um determinado ciclo de faturamento a energia injetada na rede pelo micro ou minigerador for maior que a

consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) na próxima fatura. Caso contrário, o consumidor pagará apenas a diferença entre a energia consumida e a gerada. Cabe ressaltar que, dependendo da forma de incidência dos impostos em cada Estado, o consumidor terá ainda que pagar os impostos (ICMS e PIS/COFINS) incidentes sobre o total da energia absorvida da rede.

Importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). De forma análoga, para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A) será devida apenas a parcela da fatura correspondente à demanda contratada. (ANEEL, 2014).

A Figura 3.2 ilustra o funcionamento do Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

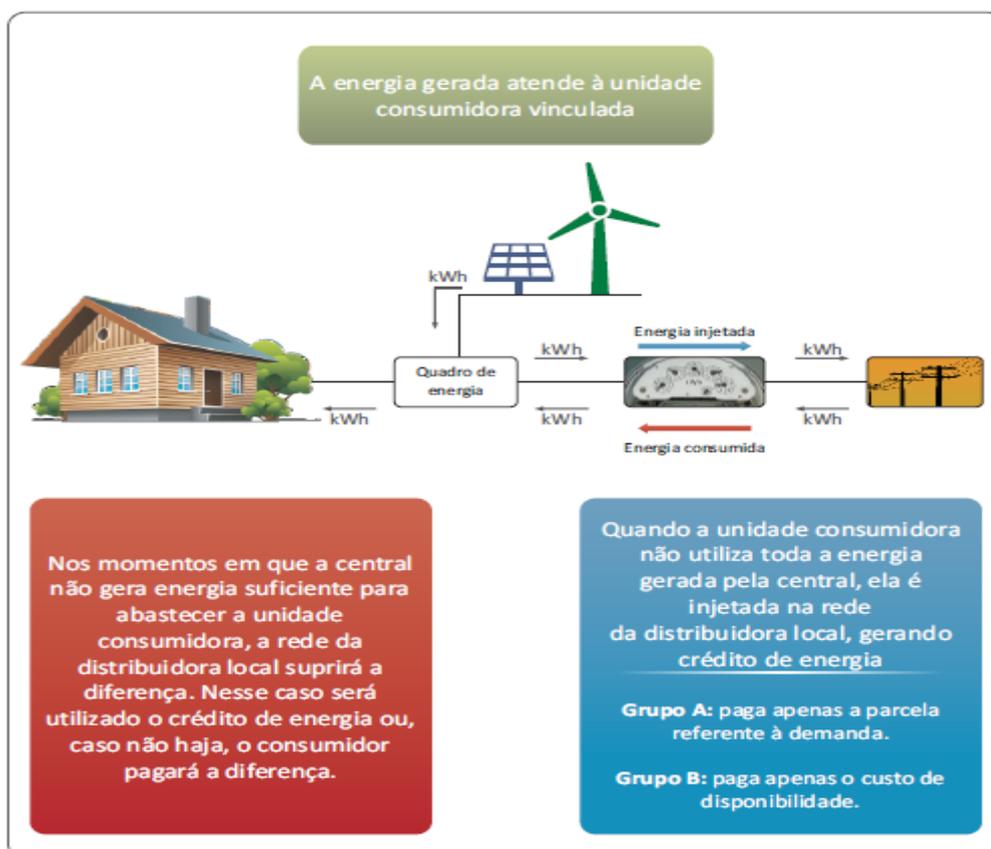


Figura 3.2: – Sistema de Compensação de Energia Elétrica

Fonte: ANEEL, 2014

4 O Acesso de Minigeração e Microgeração

A conexão de Acessantes em BT não será realizada em instalações de caráter provisório, a não ser que as alterações futuras possam ser efetuadas sem a necessidade de mudanças nas instalações de conexão.

A conexão não poderá acarretar prejuízos ao desempenho e aos níveis de qualidade dos serviços públicos de energia elétrica a qualquer consumidor, conforme os critérios estabelecidos pelo Poder Concedente.

A Cemig D poderá interromper o acesso ao seu sistema quando constatar a ocorrência de qualquer procedimento irregular ou deficiência técnica e/ou de segurança das instalações de conexão que ofereçam risco iminente de danos a pessoas ou bens, ou quando se constatar interferências, provocadas por equipamentos do Acessante, prejudiciais ao funcionamento do sistema elétrico da acessada ou de equipamentos de outros consumidores. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS DISTRIBUIÇÃO (CEMIG, 2012).

4.1 Microgeração distribuída

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (CEMIG, 2012).

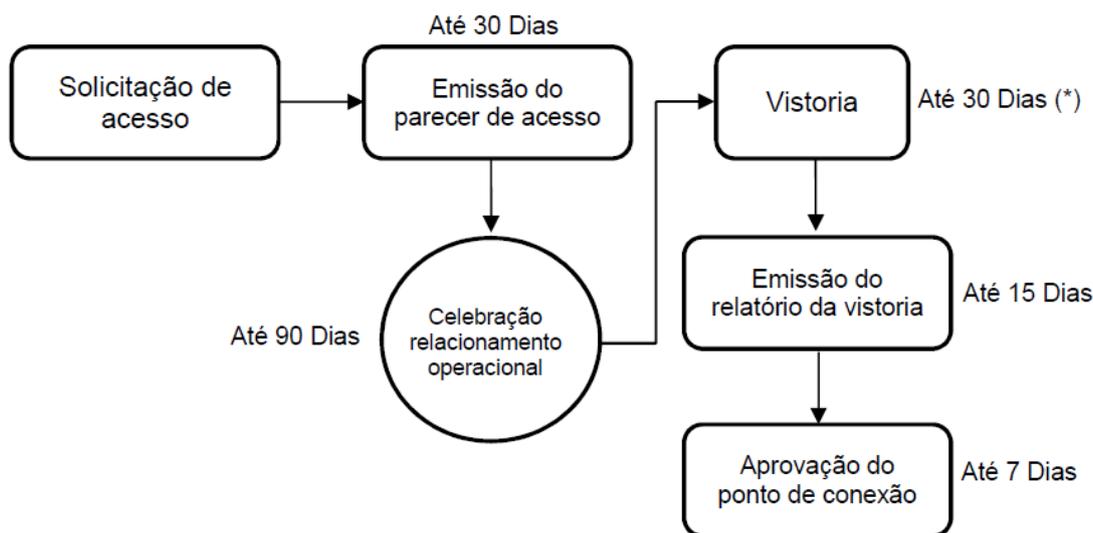
4.2 Minigeração distribuída

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (CEMIG, 2012).

4.3 Procedimentos de acesso

A Solicitação de Acesso deverá ser formalizada pelo usuário interessado, através de formulário específico disponibilizado através da internet, na página da Cemig ou nas agências e postos de atendimento. O formulário devidamente preenchido e assinado deverá ser entregue nas agências e postos de atendimento.

Os procedimentos de acesso estão detalhados no Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST). Consistem nas várias etapas necessárias para a obtenção de acesso ao sistema de distribuição. Aplicam-se tanto a novos Acessantes quanto à alteração de carga/geração. Para a viabilização do acesso ao sistema elétrico é necessário o cumprimento das etapas de Solicitação de Acesso e Parecer de Acesso. Essas etapas são apresentadas de forma sucinta na Figura 4.1 e descritas a seguir. (CEMIG, 2012).



(*) a partir da solicitação de vistoria por parte do acessante.

Figura 4.1: – Acesso de Minigeração e Microgeração

Fonte: CEMIG, 2012

De acordo com a Figura 4.1, a soma dos prazos desde a solicitação de acesso até a aprovação do ponto de conexão pode chegar a 172 dias.

De acordo com a Aneel, (2014), as etapas e prazos do procedimento de acesso que devem ser seguidos pelo consumidor e pela distribuidora, estão descritos na Figura 4.2 abaixo:

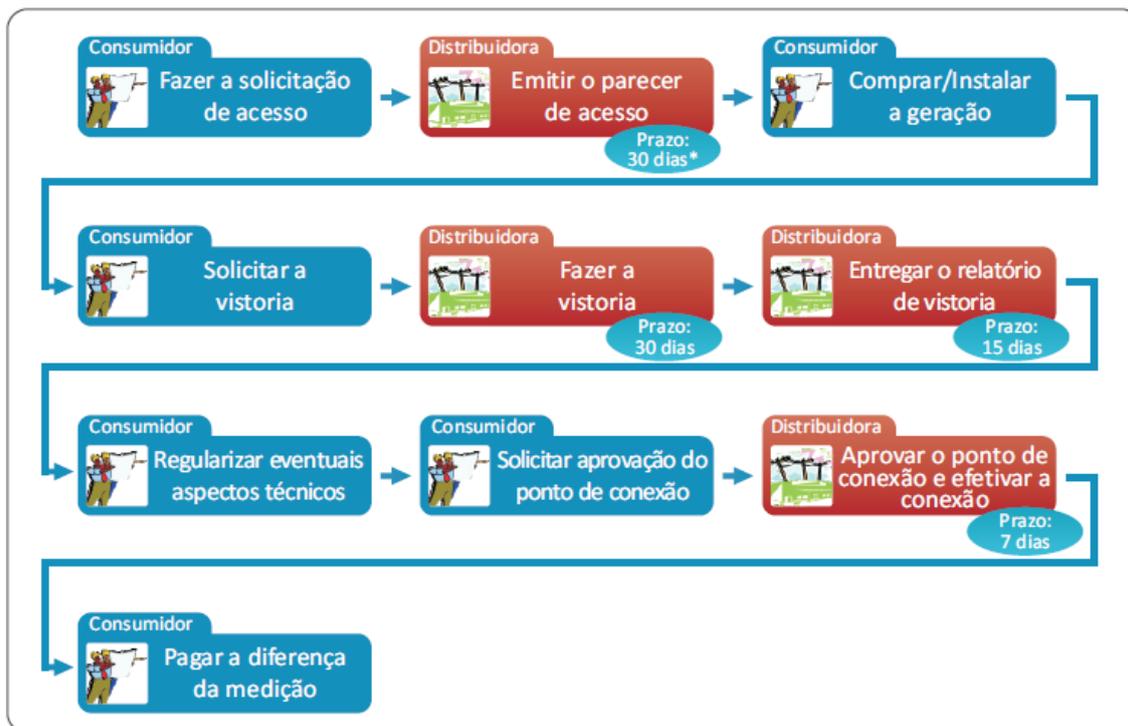


Figura 4.2: – Procedimentos e etapas de acesso

Fonte: ANEEL, 2014

4.3.1 Solicitação de acesso

Nesta etapa ocorre a solicitação formal, pelo Acessante, de acesso ao sistema de distribuição da Cemig D, através de sua área comercial.

A solicitação é formalizada através de formulário específico por tipo de fonte geradora a ser encaminhado obrigatoriamente à Cemig D pelo Acessante que se propõe a interligar sistemas de Microgeração ao sistema de distribuição (redes de BT). Os formulários reúnem as informações técnicas e básicas necessárias para os estudos pertinentes ao acesso, bem como os dados que posteriormente serão enviados a ANEEL para fins de registro da unidade de geração. (CEMIG, 2012).

4.4 Características do sistema de distribuição Cemig D em baixa tensão (BT)

As redes de distribuição trifásicas e monofásicas em BT possuem neutro comum, contínuo, multi e solidamente aterrado. O sistema de distribuição de baixa tensão deriva do secundário dos transformadores trifásicos/monofásicos de distribuição, conectados em estrela aterrada. A

configuração do sistema de baixa tensão é sempre radial, admitindo-se a transferência quando possível.

As tensões padronizadas para a baixa tensão são: 220/127 V (transformadores trifásicos) e 240/120 V (transformadores monofásicos). (CEMIG, 2012).

4.5 Forma de conexão

Os Acessantes deverão ser interligados ao sistema elétrico de baixa tensão no mesmo ponto de conexão da unidade consumidora.

Potência instalada	Forma de conexão
< 10 kW	Monofásico, bifásico ou trifásico
10 a 15 kW	Bifásico ou trifásico
> 15 kW (em rede trifásica)	Trifásico
< 30 kW (em RDR ⁽¹⁾ monofásica com transformador exclusivo)	Monofásico

Tabela 4.1:– Forma de Conexão em Função da Potência

Fonte: CEMIG, 2012

4.6 Conexão de geradores por meio de inversores

Para conexão de geradores que utilizam um inversor como interface de conexão, tais como geradores eólicos, solares ou microturbinas, deverão se basear no esquema simplificado a seguir da Figura 4.2:

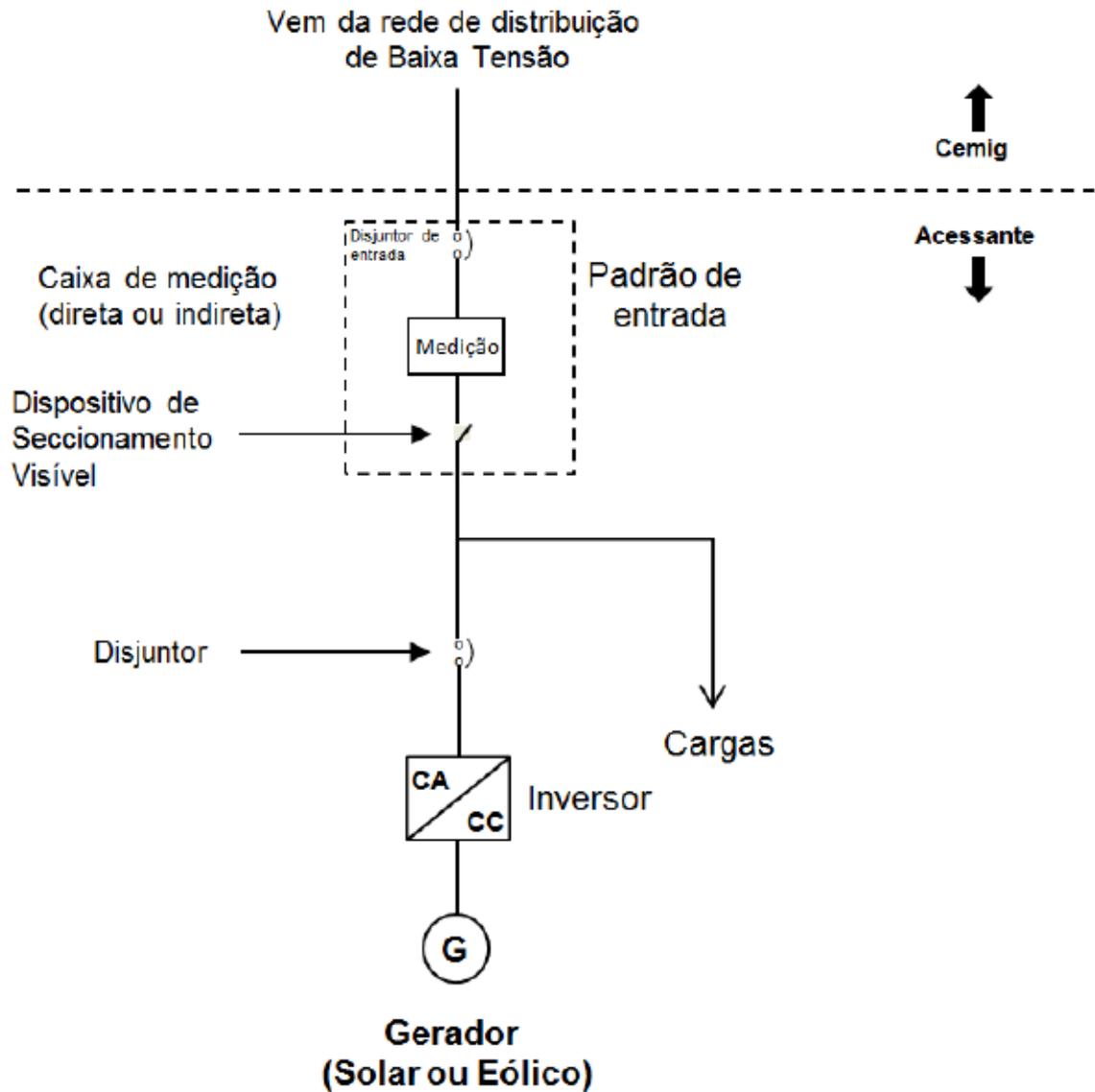


Figura 4.3: – Forma de conexão do acessante (através de inversor) à rede de BT da Cemig D

Fonte: CEMIG, 2012

4.7 Os sistemas de medição

O sistema de medição deve atender a especificações idênticas às exigidas das demais unidades consumidoras conectadas no mesmo nível de tensão da central geradora, dotada adicionalmente de funcionalidade que permita medição bidirecional de energia elétrica (medição de consumo e de geração).

Em relação às instalações em baixa tensão, a medição bidirecional pode ser feita por meio de dois medidores unidirecionais – um para aferir o consumo e o outro a geração de energia.

Os custos relativos às adequações do sistema de medição necessárias para implantação do sistema de compensação de energia elétrica são de responsabilidade do acessante, devendo ser ressarcidos à distribuidora acessada.

Após a adequação do sistema de medição, contudo, será da distribuidora a responsabilidade pela sua operação e manutenção, inclusive de eventuais custos de substituição ou adequação. (ANEEL, 2014)

A Figura 4.3 ilustra posicionamento indicado para o sistema de medição.

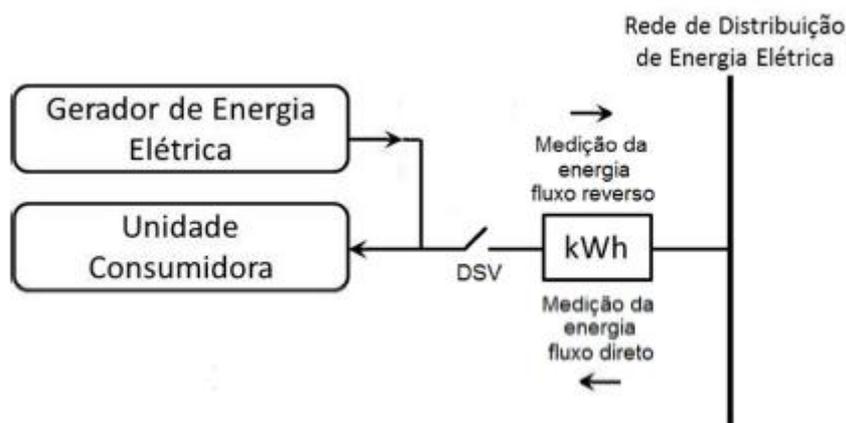


Figura 4.4: – Disposição simplificada do medidor bidirecional

Fonte: CEMIG, 2012

4.8 Requisitos de proteção para a conexão

Nos sistemas que se conectam na rede através de inversores, as proteções relacionadas na Tabela 2 podem estar inseridas nos referidos equipamentos, sendo a redundância de proteções desnecessária. É recomendável que sejam utilizados DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) tanto no lado CA quanto no lado CC da instalação. (CEMIG, 2012)

4.9 Requisitos de qualidade

A qualidade da energia fornecida pelos sistemas de geração distribuída às cargas locais e à rede elétrica da Cemig D é regida por práticas e normas referentes à tensão, cintilação, frequência, distorção harmônica e fator de potência. O desvio dos padrões estabelecidos por

essas normas caracteriza uma condição anormal de operação, e os sistemas devem ser capazes de identificar esse desvio e cessar o fornecimento de energia à rede da Cemig D.

Todos os parâmetros de qualidade de energia (tensão, cintilação, frequência, distorção harmônica e fator de potência) devem ser medidos na interface da rede/ponto de conexão comum, exceto quando houver indicação de outro ponto, quando aplicável. (CEMIG, 2012)

4.10 GD com inversores

Para os sistemas que se conectem à rede através de inversores (tais como centrais solares, eólicas ou microturbinas) deverão ser seguidas as diretrizes abaixo:

Quando a frequência da rede assumir valores abaixo de 57,5 Hz, o sistema de geração distribuída deve cessar o fornecimento de energia à rede elétrica em até 0,2 s. O sistema somente deve voltar a fornecer energia à rede quando a frequência retornar para 59,9 Hz, respeitando o tempo de reconexão mínimo de 180 segundos após a retomada das condições normais de tensão e frequência da rede.

Quando a frequência da rede ultrapassar 60,5 Hz e permanecer abaixo de 62 Hz, o sistema de geração distribuída deve reduzir a potência ativa injetada na rede segundo a equação:

$$\Delta P = [f_{rede} - (f_{nominal} + 0,5)] \times R$$

Sendo:

ΔP é variação da potência ativa injetada (em %) em relação à potência ativa injetada no momento em que a frequência excede 60,5 Hz (PM);

f_{rede} é a frequência da rede;

$f_{nominal}$ é a frequência nominal da rede;

R é a taxa de redução desejada da potência ativa injetada (em %/Hz), ajustada em - 40 %/Hz. A resolução da medição de frequência deve ser $\leq 0,01$ Hz

Se, após iniciado o processo de redução da potência ativa, a frequência da rede reduzir, o sistema de geração distribuída deve manter o menor valor de potência ativa atingida ($P_M - \Delta P_{Máximo}$) durante o aumento da frequência. O sistema de geração distribuída só deve aumentar a potência ativa injetada quando a frequência da rede retornar para a faixa 60 Hz \pm

0,05 Hz, por no mínimo 300 segundos. O gradiente de elevação da potência ativa injetada na rede deve ser de até 20 % de P_M por minuto.

Quando a frequência da rede ultrapassar 62 Hz, o sistema de geração distribuída deve cessar de fornecer energia à rede elétrica em até 0,2 s. O sistema somente deve voltar a fornecer energia à rede quando a frequência retornar para 60,1 Hz, respeitando o tempo de reconexão descrito no item 5.4. O gradiente de elevação da potência ativa injetada na rede deve ser de até 20 % de P_M por minuto.

A Figura 4.4 ilustra a curva de operação do sistema fotovoltaico em função da frequência da rede para a desconexão por sobre/subfrequência. (CEMIG, 2012)

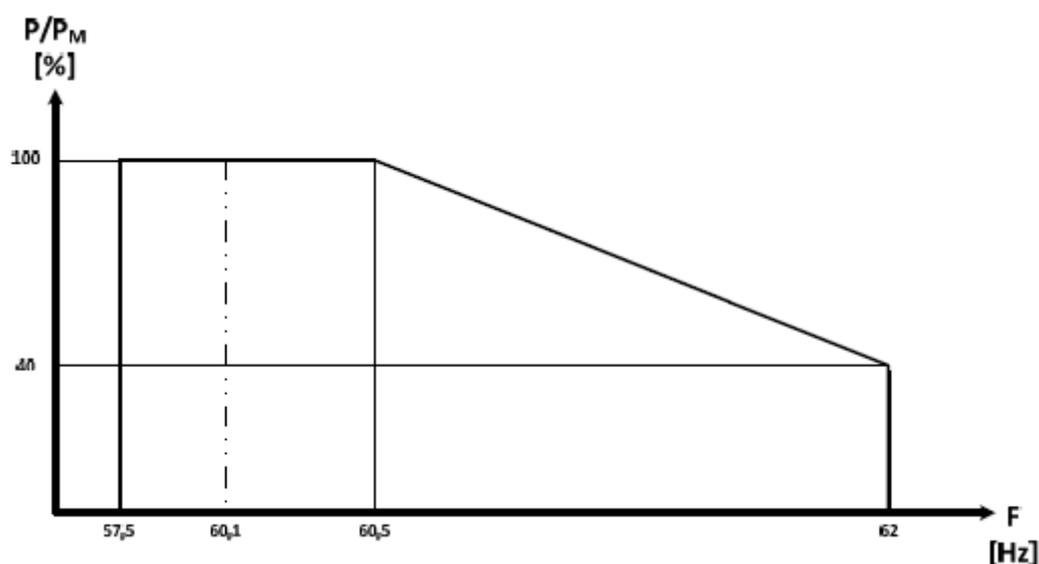


Figura 4.5: – Curva de operação do sistema de geração distribuída em função da frequência da rede para desconexão por sobre/subfrequência

Fonte: CEMIG, 2012

4.11 Fator de potência

O sistema de geração distribuída deve ser capaz de operar dentro das seguintes faixas de fator de potência quando a potência ativa injetada na rede for superior a 20% da potência nominal do gerador:

- Sistemas de geração distribuída com potência nominal menor ou igual a 3 kW: FP igual a 1 com tolerância de trabalhar na faixa de 0,98 indutivo até 0,98 capacitivo;
- Sistemas de geração distribuída com potência nominal maior que 3 kW e menor ou igual a 6 kW: FP ajustável de 0,95 indutivo até 0,95 capacitivo;

· Sistemas de geração distribuída com potência nominal maior que 6 kW: FP ajustável de 0,90 indutivo até 0,90 capacitivo.

Após uma mudança na potência ativa, o sistema de geração distribuída deve ser capaz de ajustar a potência reativa de saída automaticamente para corresponder ao FP predefinido.

Qualquer ponto operacional resultante destas definições/curvas deve ser atingido em, no máximo, 10 s. (CEMIG, 2012).

4.12 Requisitos de Segurança

A função de proteção dos equipamentos pode ser executada por um dispositivo interno ao inversor para as conexões que o utilizem como interface com a rede ou por dispositivos externos para aquelas conexões que não utilizem inversor como interface.

4.12.1 Perda de tensão da rede

Para prevenir o ilhamento, um sistema de geração distribuída conectado à rede deve cessar o fornecimento de energia à rede, independentemente das cargas ligadas ou outros geradores distribuídos ou não, em um tempo limite especificado.

A rede elétrica pode não estar energizada por várias razões. Por exemplo, a atuação de proteções contra faltas e a desconexão devido à manutenção.

4.12.2 Variações de tensão e frequência

Condições anormais de operação podem surgir na rede elétrica e requerem uma resposta do sistema de geração distribuída conectado a essa rede. Esta resposta é para garantir a segurança das equipes de manutenção da rede e das pessoas em geral, bem como para evitar danos aos equipamentos conectados à rede, incluindo o sistema de geração distribuída.

4.12.3 Proteção contra ilhamento

O sistema de geração distribuída deve cessar o fornecimento de energia à rede, por meio da abertura do elemento de desconexão da GD, em até 2 segundos após a perda da rede (ilhamento).

NOTA Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos, devem atender ao estabelecido na ABNT NBR IEC 62116. (CEMIG, 2012)

4.12.4 Reconexão

Depois de uma “desconexão” devido a uma condição anormal da rede, o sistema de geração distribuída não pode retomar o fornecimento de energia à rede elétrica (reconexão) por um período mínimo de 180 segundos após a retomada das condições normais de tensão e frequência da rede. (CEMIG, 2012)

4.12.5 Aterramento

O sistema de geração distribuída deverá estar conectado ao sistema de aterramento da unidade consumidora. (CEMIG, 2012)

4.12.6 Proteção contra curto-circuito

O sistema de geração distribuída deve possuir dispositivo de proteção contra sobrecorrentes, a fim de limitar e interromper o fornecimento de energia, bem como proporcionar proteção à rede da Cemig contra eventuais defeitos a partir do sistema de geração distribuída. Tal proteção deve ser coordenada com a proteção geral da unidade consumidora, através de disjuntor termomagnético, localizado eletricamente antes da medição e deve ser instalado na posição vertical com o ramal de entrada conectado sempre em seus bornes superiores, no padrão de entrada de energia da unidade consumidora.

4.12.7 Religamento automático da rede

O sistema de geração distribuída deve ser capaz de suportar religamento automático fora de fase na pior condição possível (em oposição de fase).

NOTA O tempo de religamento automático varia de acordo com o sistema de proteção adotado e o tipo de rede de distribuição (urbano ou rural). Podendo variar de 500 ms até 60 segundos. (CEMIG, 2012)

A Figura 4.6 mostra, em uma linha do tempo, como a Normatização Brasileira de Geração Distribuída vem buscando aprimorar os padrões de segurança e qualidade no acesso às Redes de Distribuição de Energia Elétrica.

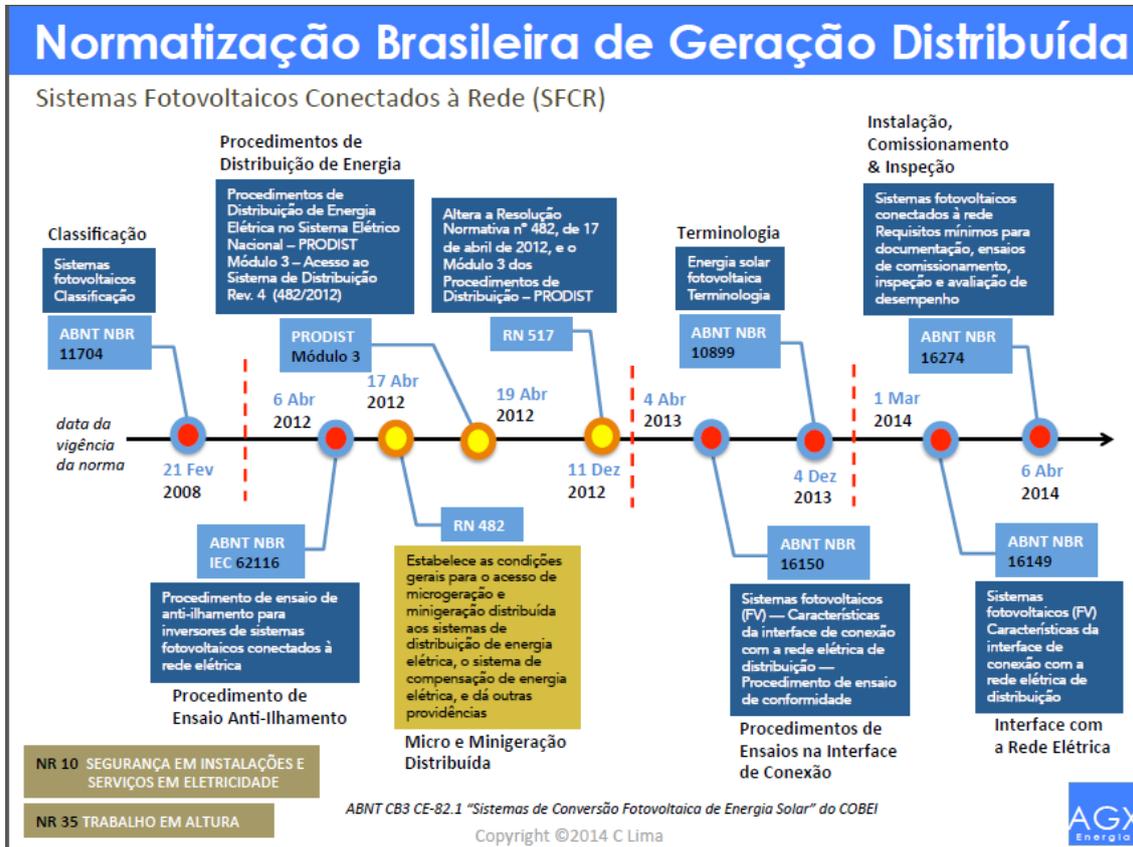


Figura 4.7: – Linha do Tempo da Normatização Brasileira de Geração Distribuída

Fonte: ANEEL, 2014

5 Ilustração de um caso real

A figura 5.1 apresenta um medidor polifásico bidirecional equipado com um sistema telecontrolado, para aquisição de dados referentes ao consumo e geração da unidade consumidora, através de um sistema remoto via celular, indicando o fluxo da energia no sentido do gerador para a rede de distribuição de energia, na região de Itabirito. A seta, destacada pelo círculo, orientada da direita para esquerda, indica fluxo reverso, ou seja, o medidor está registrando energia sendo injetada na rede de distribuição da distribuidora.



Figura 5.1: – Medidor indicando fluxo reverso de energia

Fonte: Arquivo pessoal

A Figura 5.2 apresenta o mesmo medidor da Figura 5.1, agora com a indicação de fluxo direto, ou seja, da distribuidora para a unidade consumidora, como pode ser observado destacado pelo círculo.

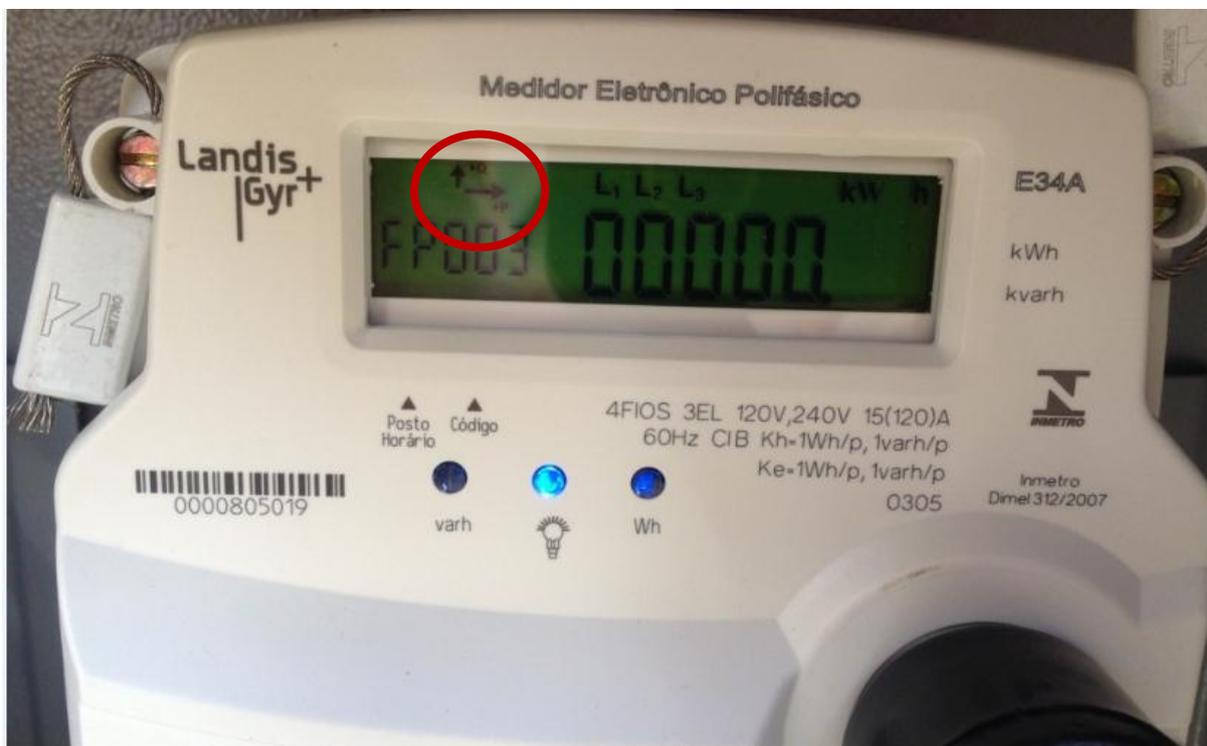


Figura 5.2 – Medidor indicando fluxo direto de energia

Fonte: Arquivo pessoal

5.1 Inversor utilizado

O UNO-2.0-I-OUTD e o UNO-2.5-I-OUTD são os mais recentes inversores monofásicos da serie Aurora. Apresentam design moderno e são equipados com a comprovada tecnologia de alto desempenho da Power-One. O novo design traz recursos modernos, como um dissipador de calor especial, embutido, e o sistema de visor do painel frontal.

O UNO-2.0-I-OUTD e o UNO-2.5-I-OUTD são os menores modelos da serie Aurora, produzida pela Power-One, destinados a ambiente externo. São inversores robustos, projetados como uma unidade completamente vedada, para suportar as mais severas condições ambientais, e são do tamanho certo para sistemas fotovoltaicos conectados a rede, residenciais, com módulos instalados sobre telhados.

O circuito de MPPT de alta velocidade proporciona rastreamento de potencia em tempo real, o que maximiza a geração de energia.

Apesar do transformador de alta frequência esses inversores tem eficiência de 96,3%, e a ampla faixa de tensão de entrada os tornam adequados para instalações de baixa potencia com series de módulos (“strings”) de tamanho reduzido.

A Figura 5.3 apresenta o diagrama de blocos do inversor utilizado na interface com a rede na ligação de um acesso de microgeração em Itabirito, MG, na Região dos Inconfidentes.

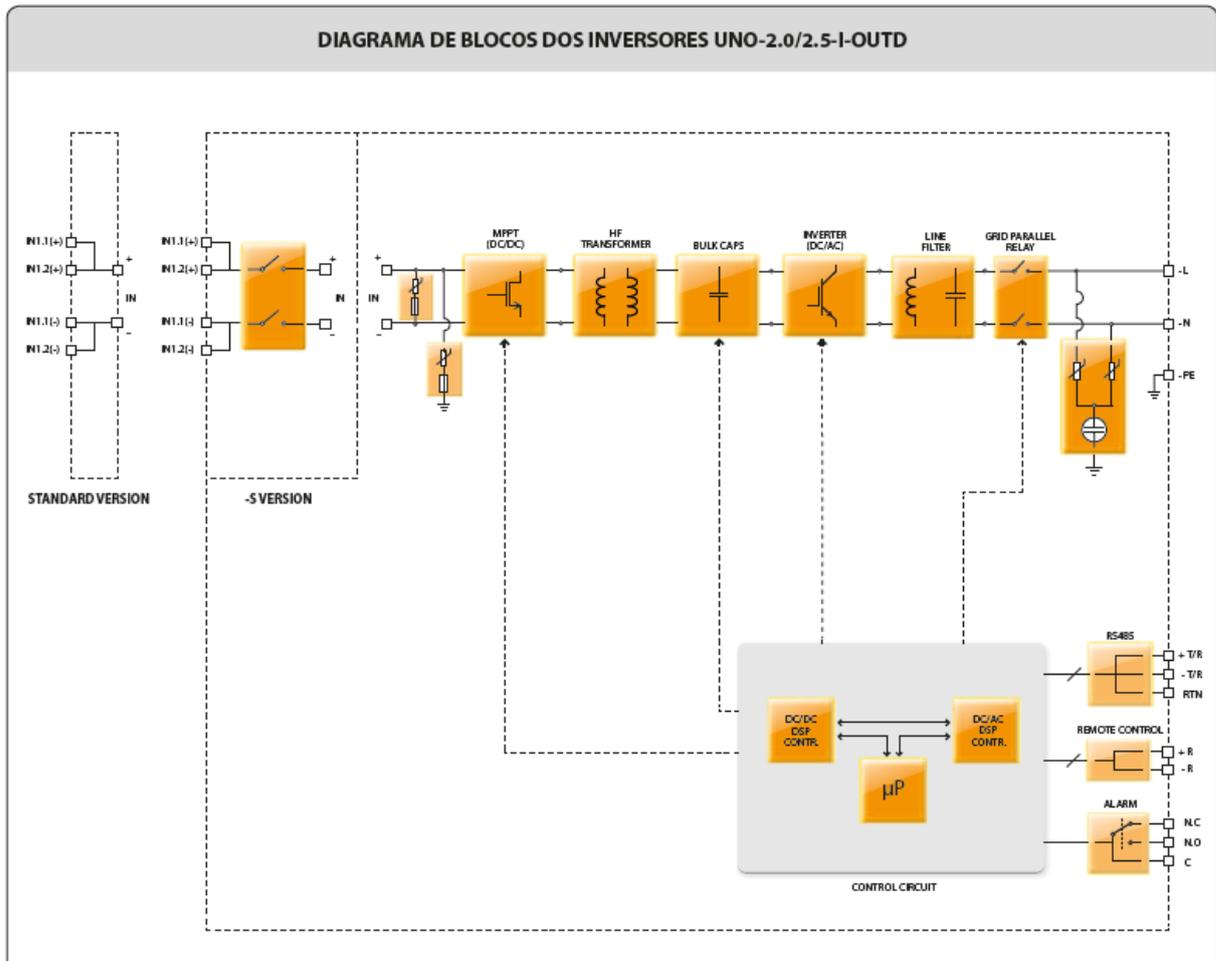


Figura 5.3: – Diagrama de Blocos inversor ABB Power One Uno

Fonte: Manual do Inversor

A Figura 5.4 apresenta uma lista de especificações técnicas do inversor utilizado na ligação de um acesso de microgeração em Itabirito, MG, na Região dos Inconfidentes.

Modelo	UNO-2.0-I-OUTD
Tipo	Monofásico
Potência máx	2200 W
Eficiência	96,3%
Tensão entrada máx	550 V
Corrente entrada máx	12,5 A
Tensão saída CA	180...264V
Corrente máx saída CA	10A
Dimensões (A/L/P)	518mm / 367mm / 161mm
Peso	17 kg
Elemento de desconexão	Chave DSV
Elemento de Interrupção	Inversor
Proteção de sub e sobretensão	Inversor
Proteção de sub e sobrefrequência	Inversor
Proteção de sobrecorrente	Inversor
Relé de sincronismo	Inversor
Anti-Ilhamento	Inversor
Surtos	DPS CA

Figura 5.4 – Dados do inversor

Fonte: Manual do inversor

A Figura 5.5 mostra o inversor instalado e abaixo dele, um pequeno quadro com os dispositivos de proteção contra surtos.

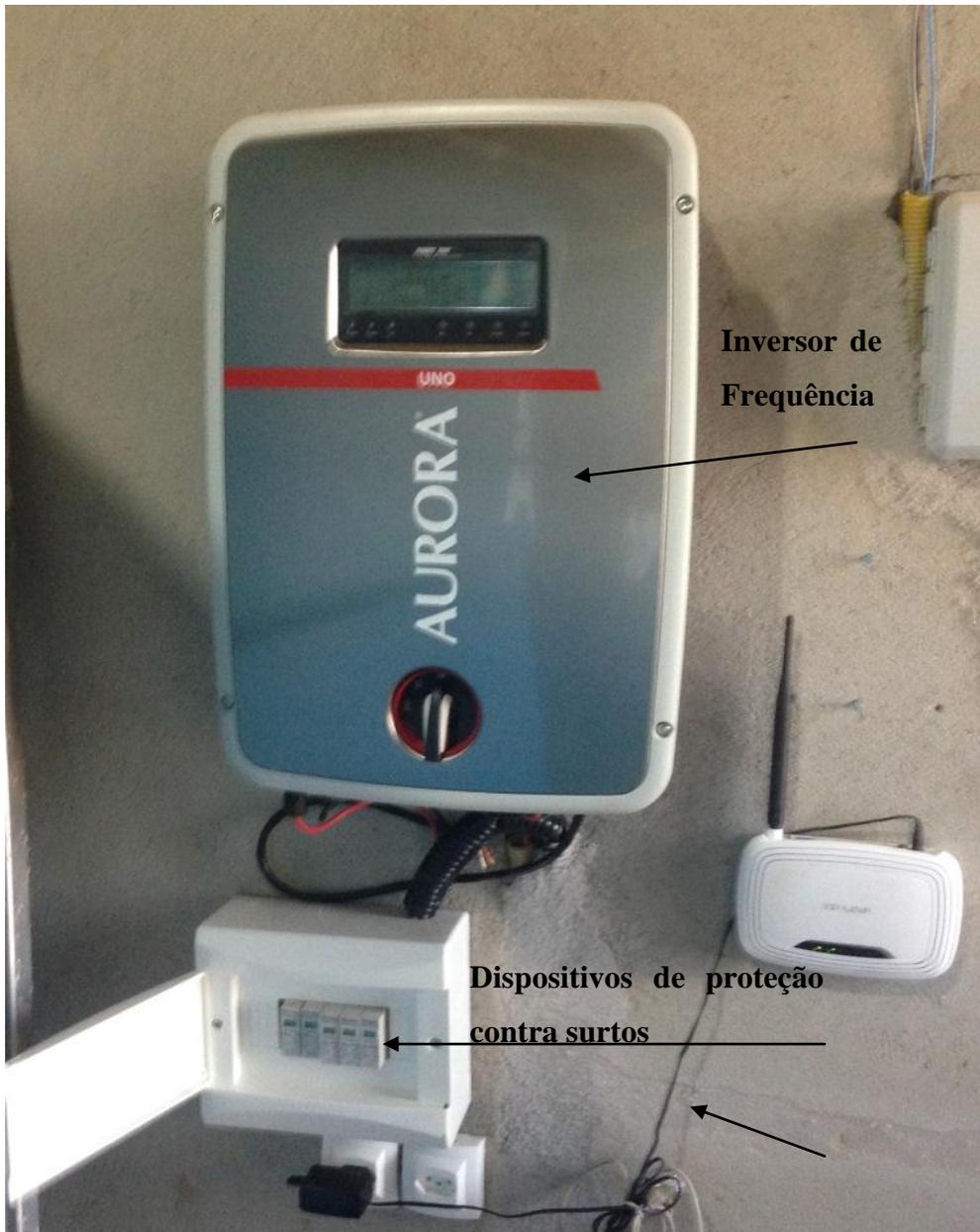


Figura 5.5: – Inversor Instalado Itabirito MG

Fonte: Arquivo pessoal

A Figura 5.6 mostra os oito módulos, destacando a simplicidade da estrutura e angulação na qual foram instalados esses módulos.



Figura 5.6: - Módulos instalados Itabirito MG

Fonte: Arquivo pessoal

A Figura 5.7 apresenta as especificações técnicas dos módulos e selos de certificação.

Energia (Elétrica)		MÓDULO FOTOVOLTAICO
Fabricante Marca		YINGLI DO BRASIL YINGLI
Modelo		YL245P-29b
Mais eficiente		A
Menos eficiente		
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	15,0	
Área Externa do Módulo (m ²)	1,630	
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês)	30,630	
Potência nas Condições Padrão (W)	245	

Registros de Avaliação de Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica
Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o Manual do aparelho

PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
INMETRO

IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR




Yingli Energy (China) Co.,Ltd
ADD:No.3399 Chaoyang North Road, Baoding 071051, China
TEL: +86 (312)8929801
FAX: +86 (312)8929800
<http://www.yinglisolar.com>

Module Type: YL245P-29b Application Class: A
Rated Max. Power: 245.0 W (-0~+5W)
Rated Voltage: 30.2 V Open Circuit Voltage: 37.8 V
Rated Current: 8.11 A Short Circuit Current: 8.63 A
Max.Series Fuse: 15 A Max.System Voltage: 1000 V

Please see the serial number on the frontside of module.
Fire Resistance Rating: Class C

Test condition: AM 1.5, 25 °C, 1000W/m²

CE TÜV Rheinland CERT
www.tuv.com TÜV Rheinland
www.tuv.com TÜV Rheinland

Warning!
Read the installation and operation manual before installing, operating or servicing this unit. Do not connect or disconnect plug contacts, during the system is under load current. Not following this instruction brings you in DANGER!

MADE IN CHINA

Figura 5.7:- Placa característica dos módulos

Fonte: Arquivo pessoal

A Figura 5.8 apresenta duas faturas de energia da unidade consumidora, recortadas para mostrar apenas as informações relevantes para a ilustração, em destaque valores reais de consumo e energia gerada pela usina de microgeração e seus respectivos valores em reais, tarifas e impostos aplicados.

<p>Informações Gerais</p> <p>Reajuste Tarifário Extraordinário: percentual médio de 28,80%, conforme Resolução nº 1.858 de 27/02/15. Nota fiscal de 02/2015 quitada em 17/03/2015. Considerar nota fiscal quitada após débito em sua c/c. O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no vencimento das mesmas.</p> <p>FEV/2015 Band. Vermelha - MAR/2015 Band. Vermelha</p>	<p>Valores Faturados</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Quantidade</th> <th>Tarifa/Preço (R\$)</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energia Elétrica kWh</td> <td>252</td> <td>0,70474769</td> <td>177,58</td> </tr> <tr> <td>Dif. Custo Disponib. Res. 482</td> <td>19</td> <td>0,70474769</td> <td>13,36</td> </tr> <tr> <td>Energia Injetada kWh</td> <td>171</td> <td>0,65471060</td> <td>111,94-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tarifas Aplicadas (sem impostos)</p> <p>Dif. Custo Disponib. Res. 482 0,45829742</p> <p>Energia Elétrica kWh 0,45829742</p> <p>Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar</p> <p>Bandeira Vermelha 6,41</p>	Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)	Energia Elétrica kWh	252	0,70474769	177,58	Dif. Custo Disponib. Res. 482	19	0,70474769	13,36	Energia Injetada kWh	171	0,65471060	111,94-																					
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)																																			
Energia Elétrica kWh	252	0,70474769	177,58																																			
Dif. Custo Disponib. Res. 482	19	0,70474769	13,36																																			
Energia Injetada kWh	171	0,65471060	111,94-																																			
<p>Indicadores de Qualidade de Fornecimento</p> <p>Nova Lima 1-Mês:01/2015</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Apurado Mensal</th> <th>Mensal</th> <th>Trimestral</th> <th>Anual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIC</td> <td>1,97</td> <td>5,79</td> <td>11,58</td> </tr> <tr> <td>FIC</td> <td>1,00</td> <td>3,42</td> <td>6,85</td> </tr> <tr> <td>DMIC</td> <td>1,97</td> <td>3,37</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DICRI</td> <td>0,00</td> <td>12,22</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tensão: Nominal= 220/127 V Min.= 201/116 V Máx.= 231/133 V Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$ 54,95</p>	Apurado Mensal	Mensal	Trimestral	Anual	DIC	1,97	5,79	11,58	FIC	1,00	3,42	6,85	DMIC	1,97	3,37	-	DICRI	0,00	12,22	-	<p>VENCIMENTO 17/04/2015</p> <p>VALOR A PAGAR R\$ 79,00</p>																	
Apurado Mensal	Mensal	Trimestral	Anual																																			
DIC	1,97	5,79	11,58																																			
FIC	1,00	3,42	6,85																																			
DMIC	1,97	3,37	-																																			
DICRI	0,00	12,22	-																																			
<p>Informações de Faturamento</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PARCELAS</th> <th>VALOR(R\$)</th> <th>%</th> <th>PARCELAS</th> <th>VALOR(R\$)</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energia</td> <td>14,93</td> <td>18,90</td> <td>Enc. setoriais</td> <td>4,15</td> <td>5,25</td> </tr> <tr> <td>Distribuição</td> <td>24,74</td> <td>31,32</td> <td>Tributos</td> <td>33,17</td> <td>41,99</td> </tr> <tr> <td>Transmissão</td> <td>2,01</td> <td>2,54</td> <td>Totais</td> <td>79,00</td> <td>100,00</td> </tr> </tbody> </table>	PARCELAS	VALOR(R\$)	%	PARCELAS	VALOR(R\$)	%	Energia	14,93	18,90	Enc. setoriais	4,15	5,25	Distribuição	24,74	31,32	Tributos	33,17	41,99	Transmissão	2,01	2,54	Totais	79,00	100,00	<p>Informações Gerais</p> <p>Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 1.700, de 07/04/14. Nota fiscal de 01/2015 quitada em 18/02/2015. Considerar nota fiscal quitada após débito em sua c/c. O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no vencimento das mesmas.</p> <p>JAN/2015 Band. Vermelha - FEV/2015 Band. Vermelha</p>	<p>Valores Faturados</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Quantidade</th> <th>Tarifa/Preço (R\$)</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energia Elétrica kWh</td> <td>276</td> <td>0,64618882</td> <td>178,33</td> </tr> <tr> <td>Energia Injetada kWh</td> <td>61</td> <td>0,60917143</td> <td>37,15-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tarifas Aplicadas (sem impostos)</p> <p>Energia Elétrica kWh 0,42642000</p> <p>Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar</p> <p>Bandeira Vermelha 9,93</p>	Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)	Energia Elétrica kWh	276	0,64618882	178,33	Energia Injetada kWh	61	0,60917143	37,15-
PARCELAS	VALOR(R\$)	%	PARCELAS	VALOR(R\$)	%																																	
Energia	14,93	18,90	Enc. setoriais	4,15	5,25																																	
Distribuição	24,74	31,32	Tributos	33,17	41,99																																	
Transmissão	2,01	2,54	Totais	79,00	100,00																																	
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)																																			
Energia Elétrica kWh	276	0,64618882	178,33																																			
Energia Injetada kWh	61	0,60917143	37,15-																																			
<p>Indicadores de Qualidade de Fornecimento</p> <p>Nova Lima 1-Mês:12/2014</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Apurado Mensal</th> <th>Mensal</th> <th>Trimestral</th> <th>Anual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIC</td> <td>0,00</td> <td>5,91</td> <td>11,82</td> </tr> <tr> <td>FIC</td> <td>0,00</td> <td>3,48</td> <td>6,97</td> </tr> <tr> <td>DMIC</td> <td>0,00</td> <td>3,46</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DICRI</td> <td>0,00</td> <td>12,22</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tensão: Nominal= 220/127 V Min.= 201/116 V Máx.= 231/133 V Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$ 70,06</p>	Apurado Mensal	Mensal	Trimestral	Anual	DIC	0,00	5,91	11,82	FIC	0,00	3,48	6,97	DMIC	0,00	3,46	-	DICRI	0,00	12,22	-	<p>VENCIMENTO 17/03/2015</p> <p>VALOR A PAGAR R\$ 141,18</p>																	
Apurado Mensal	Mensal	Trimestral	Anual																																			
DIC	0,00	5,91	11,82																																			
FIC	0,00	3,48	6,97																																			
DMIC	0,00	3,46	-																																			
DICRI	0,00	12,22	-																																			
<p>Informações de Faturamento</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PARCELAS</th> <th>VALOR(R\$)</th> <th>%</th> <th>PARCELAS</th> <th>VALOR(R\$)</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energia</td> <td>29,87</td> <td>21,16</td> <td>Enc. setoriais</td> <td>8,31</td> <td>5,89</td> </tr> <tr> <td>Distribuição</td> <td>49,47</td> <td>35,04</td> <td>Tributos</td> <td>49,50</td> <td>35,06</td> </tr> <tr> <td>Transmissão</td> <td>4,03</td> <td>2,85</td> <td>Totais</td> <td>141,18</td> <td>100,00</td> </tr> </tbody> </table>	PARCELAS	VALOR(R\$)	%	PARCELAS	VALOR(R\$)	%	Energia	29,87	21,16	Enc. setoriais	8,31	5,89	Distribuição	49,47	35,04	Tributos	49,50	35,06	Transmissão	4,03	2,85	Totais	141,18	100,00														
PARCELAS	VALOR(R\$)	%	PARCELAS	VALOR(R\$)	%																																	
Energia	29,87	21,16	Enc. setoriais	8,31	5,89																																	
Distribuição	49,47	35,04	Tributos	49,50	35,06																																	
Transmissão	4,03	2,85	Totais	141,18	100,00																																	

Figura 5.8: - Faturas de Energia Elétrica Cemig de um sistema de microgeração da região dos Inconfidentes

Fonte: Arquivo pessoal

6 Considerações Finais

Com este trabalho foi possível verificar um grande avanço na normatização técnica que trata do acesso de microgeração e minigeração distribuída solar fotovoltaico, mas ainda tem muito a se fazer nessa área para que o acesso mais amplo a essas tecnologias e conhecimento chegue às pessoas e se popularize mais rápido.

O estudo das normas proporcionou maior clareza e entendimento dos requisitos legais e técnicos relacionados ao acesso às redes de distribuição de energia por parte de pequenas centrais geradoras, tais como, a preocupação com a segurança tanto das redes e do sistema elétrico quanto das pessoas que prestam serviços e usuários em geral, além de ver como isso proporcionou melhorias nos equipamentos e padrões de qualidade. Por outro lado, foi possível perceber que é de difícil entendimento o sistema de compensação de energia, do ponto de vista tributário, e que o tempo de solicitação de acesso até a efetiva ligação da mini ou microgeração ainda é muito longo, o que mostra pontos a serem melhorados tanto pela distribuidora quanto pela Resolução Normativa 482/2012.

O sistema de geração fotovoltaico conectado à rede de distribuição é, de certa forma, simples e rápido de ser instalado, demanda pouca alteração no sistema de distribuição de energia por parte da concessionária, traz para o proprietário um retorno financeiro e um maior controle na gestão do consumo de energia, . Essa tecnologia deve ser mais explorada e incentivada pelos órgãos reguladores da energia elétrica no Brasil, e uma das maneiras disso acontecer é através da própria Resolução Normativa 482/2012 que deve ser repensada para evoluir no sentido de aumentar a facilidade de acesso, controle e gestão das redes de distribuição visando interagir com os equipamentos para obter respostas e diagnósticos mais rápidos e confiáveis do sistema.

A geração distribuída na região dos inconfidentes tem grande potencial para trazer maior confiabilidade às redes de distribuição, melhorar a qualidade de vida das pessoas, aumentar a disponibilidade de energia e reduzir a necessidade de outras formas de energia. Preservando assim, reservatórios de hidrelétricas entre os outros benefícios citados anteriormente.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

O acesso às redes de distribuição de energia por pequenas centrais geradoras desenhará um novo sistema de distribuição de energia que irá demandar mais interatividade no gerenciamento dessas redes. Assim, estudar maneiras interação com as redes através de protocolos de comunicação e georreferenciamento pode produzir benefícios para o futuro, trazendo segurança e confiabilidade para o sistema elétrico nacional.

7 Bibliografia

ABINEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira**. Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos da ABINEE, 2012. 176p.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **Atlas de energia elétrica do BRASIL**. 1. ed., 2002.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia Elétrica**, Março, 2014.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **“Consulta Pública Nº 015/2010”**, Superintendência de Mediação Administrativa Setorial, Brasília, Brasil, Setembro, 2010.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **“Resolução Normativa Nº 482/2012”**, Diretoria Geral, Brasília, Brasil, Abril, 2012.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **“Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição”**, Diretoria Geral, Brasília, Brasil, Abril, 2012.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **“Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST”**, Diretoria Geral, Brasília, Brasil, Abril, 2012.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS DISTRIBUIÇÃO LTDA S.A. - CEMIG D. ND 5.30 - **Manual de Distribuição Requisitos para a conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig – Conexão em Baixa Tensão**. Belo Horizonte, 2012. 39p.

ENERGIAS ALTERNATIVAS, SOLARTERRA, **Energia Solar Fotovoltaica, Guia Prático**, 2014.

IEC 62116, **“Procedimento de Ensaio de Anti-Ilhamento para Inversores de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica”**, ABNT/CB-03 Eletricidade, Abril de 2012.

JUNIOR, ORLANDO LISITA. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso - 3kWp instalados no estacionamento do IEE-USP.** 2005, 87f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

NASCIMENTO, CÁSSIO ARAÚJO. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.** 2004, 21f. Monografia (Especialização em fontes alternativas de energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.