

DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA:

GERENCIAMENTO E MONITORAÇÃO DE UMA MICROGERAÇÃO SOLAR

André Luiz Silveira¹
Eric Marques Fortunato²
Marcelo Golin Buzzatti³
Ricardo Luiz Alves⁴
Sérgio Luciano Avila⁵

RESUMO

Pode-se considerar como inestimável a importância que a energia elétrica tem para a sobrevivência e o desenvolvimento socioeconômico da sociedade. O aumento da demanda por energia, o crescimento populacional e tecnológico e o amadurecimento das preocupações ambientais são fatores que atraem crescentes investimentos para produção de energia através de fontes renováveis. A motivação da “geração distribuída” é inserir a energia produzida por particulares em instalações já alimentadas por uma concessionária local. De maneira bem simples, tendo energia obtida de forma alternativa, alimenta-se a instalação (carga) com ela. Não tendo essa disponibilidade, utiliza-se a energia da concessionária. Nesse contexto, o objetivo aqui é promover o conhecimento em geração distribuída. Para tal, este artigo apresenta uma reflexão sobre a importância e a viabilidade econômica, técnica e normativa para uma microgeração de energia. Além disso, também será apresentado o que há de mais relevante em relação à geração distribuída no mundo, bem como um estudo dos investimentos necessários para a implementação de uma microgeração solar. Após, como segunda parte, relata-se um projeto de pesquisa aplicada que implantou uma instalação elétrica completa para geração distribuída com microgeração solar. Em parceria com algumas empresas, utilizou-se o protótipo SMGer-GMG, solução de monitoração remota para microgeração. Este produto faz parte do projeto ANEEL 2934.0010/2012, intitulado “Nacionalização de produto para monitoramento de grupos geradores”. A instalação cumpre seu papel, tanto como teste para o protótipo SMGer-GMG aplicado em uma microgeração solar, como também sendo uma importante ferramenta de divulgação – uma vez que toda a instalação pode ser visitada e operacionalizada.

Palavras-chave: Desenvolvimento Tecnológico. Geração Distribuída.
Microgeração Solar.

- 1 Graduando, e-mail: andreluizsilveira88@gmail.com
- 2 Graduando, e-mail: emf@aqtech.com.br
- 3 Mestre, e-mail: mbuzzatti.anima@endesabr.com.br
- 4 Doutor, e-mail: ricardoalves@ifsc.edu.br
- 5 Doutor, e-mail: sergio.avila@ifsc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Imagine você “produzindo” a sua própria energia elétrica, sem a necessidade de depender totalmente das concessionárias geradoras, tendo como consequência a redução no valor da fatura de energia praticamente a zero. Não apenas isso, mas também ter a oportunidade de contribuir com a redução do impacto ambiental causado por essas grandes usinas, que vem degradando os recursos naturais e influenciando os passivos ambientais. Poderia a geração distribuída ser a solução para isso? Será um sistema economicamente viável? Quais as vantagens e desvantagens desse sistema?

O ATUAL MODELO ENERGÉTICO MUNDIAL SE BASEIA MAJORITARIAMENTE EM FONTES DE ENERGIA FÓSSEIS NÃO RENOVÁVEIS, QUE JUNTAS CONSTITUEM 80% DA OFERTA DE ENERGIA. (BBC, 2014).

Essas fontes são altamente poluentes, devido a múltiplos aspectos, em especial quanto à emissão de dióxido de carbono. Com a poluição gerada por essas fontes de energia, há a crescente preocupação em relação à sustentabilidade ambiental. Em busca de uma solução para este problema, aumentou a busca por métodos de produção e fontes de energia renováveis.

Atualmente, uma alternativa tecnológica para minimizar o impacto descrito é utilizar o sistema de Geração Distribuída (GD). Esse sistema tem como motivação a produção de energia elétrica gerada por particulares, por meio de fontes de energia renováveis, principalmente as de origem solar, eólica e biomassa. Essa

modalidade chega como uma alternativa para a produção de energia centralizada, diminuindo o impacto ambiental. Ela se baseia na descentralização da produção de energia elétrica pelas centrais geradoras de energia (centrais elétricas), sejam elas hidroelétricas, termoelétricas ou termonucleares e outras, trazendo-as para próximo do consumidor, reduzindo, em parte, o desperdício de energia, a sobrecarga da rede e os altos custos em investimentos de expansão e manutenção com transmissão. Neste método, as redes distribuidoras passam a ser responsáveis pelo sistema, contrabalançando os efeitos intermitentes desses pequenos geradores e aumentando a qualidade do fornecimento de energia (INEE, 2014). Ainda, é sabido que a energia elétrica não pode ser armazenada de uma forma que seja economicamente viável ou sem que ocorra a perda de energia. Em resumo, toda a energia elétrica gerada deve ser consumida. Portanto, toda a energia excedente que os microgeradores produzirem deve ser inserida na rede da concessionária. Assim, se isto ocorrer, a concessionária deve compensar os consumidores/fornecedores de alguma forma. (ABRADEE, 2014).

Todo esse cenário foi normatizado com a publicação, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), da Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012, que “estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica.” (ANEEL, 2012).

Com a publicação das regras deste novo mercado, mais esforços vem sendo alocados em GD. A empresa Centrais Elétricas Cachoeira Dourada

S.A. (CDSA), em parceria com a empresa AQTech Engenharia e Instrumentação S.A, desenvolve um produto para o monitoramento de geradores elétricos chamado SMGer-GMG. Tal protótipo foi concebido no projeto ANEEL 2934.0010/2012, intitulado Nacionalização de Produto para Monitoramento de Grupos Geradores. O Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) também desenvolve pesquisa aplicada em GD. Um dos projetos trata de um grupo de lâmpadas fluorescentes instaladas no Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAE/IFSC), visando analisar a GD no contexto de seu monitoramento e controle. A energia que alimenta o conjunto de lâmpadas é provida por duas fontes: pela concessionária local, Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) e por um conjunto de painéis solares localizado no telhado do DAE. Através do Acordo de Cooperação Técnico-Científico entre a CDSA e o IFSC, uniram-se as forças destas instituições nas iniciativas mencionadas para aprimorar o conhecimento tecnológico em geração distribuída e microgeração, com o auxílio do SMGer-GMG/AQTECH.

NESSE CONTEXTO, O PRESENTE ARTIGO TEM POR OBJETIVO PRINCIPAL DESMISTIFICAR O CONCEITO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, APRESENTANDO AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DESSE SISTEMA DE ENERGIA.

Na sequência, apresenta-se o protótipo desenvolvido e sua aplicação em diversas plantas, com especial destaque para a microgeração solar do DAE/IFSC. Apesar de ser apresentada a implementação de um sistema completo de interconexão e monitoramento do sistema de GD, o mesmo foi construído em caráter experimental, portanto não comercial. Assim, neste momento, o seu custo de implementação e o tempo de *payback* do sistema aqui apresentado são informações menos relevantes.

2 CONTEXTUALIZANDO A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

2.1 Sobre o Atual Sistema Elétrico Brasileiro – Visão Geral

Para poder firmar uma opinião a respeito de geração distribuída, assim como o impacto que ela poderá causar no Brasil, primeiramente é importante conhecer como funciona o atual Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), que se apresenta da seguinte forma:

- **Controle:** as atividades de governo são exercidas pelo Ministério de Minas e Energia (MME), em específico pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e pelo Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE). As atividades regulatórias e de fiscalização são exercidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica. As atividades de planejamento, operação e contabilização são exercidas por empresas públicas ou de direito privado sem fins lucrativos, como a

Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Operador Nacional do Sistema (ONS) e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). As atividades permitidas e reguladas são exercidas pelos demais agentes do setor: geradores, transmissores, distribuidores e comercializadores, representadas pela Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE, 2014).

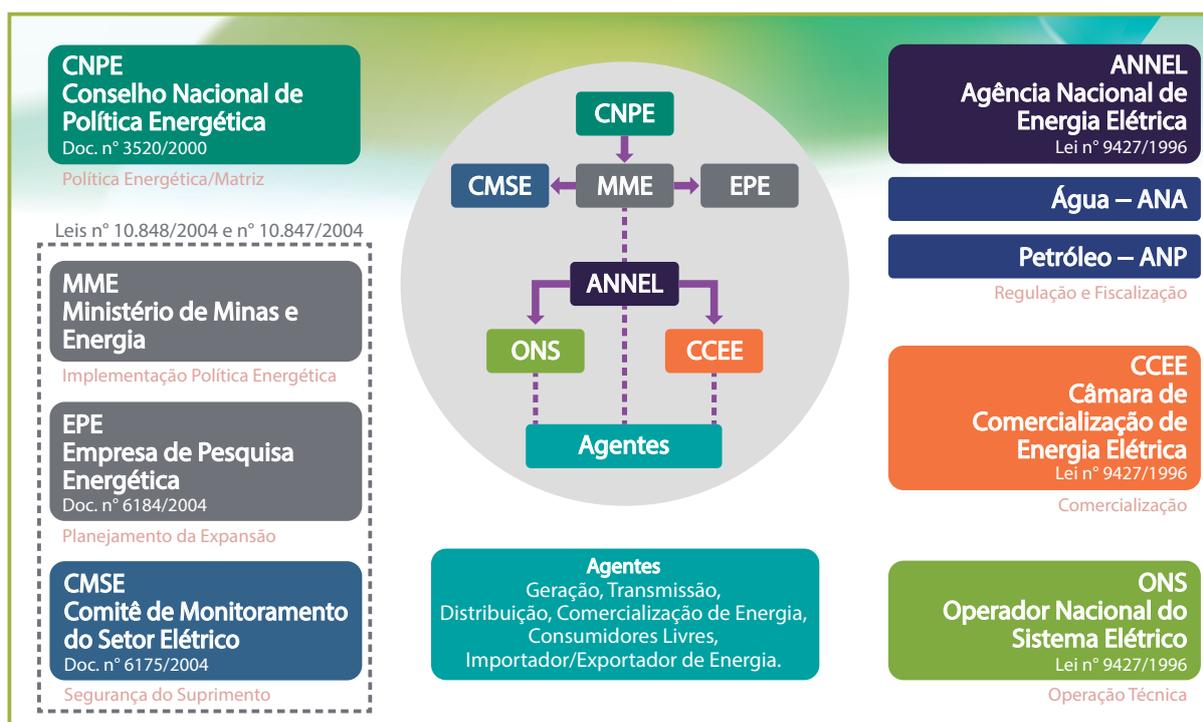
- **Geração:** a geração é o segmento da indústria de eletricidade responsável por produzir energia elétrica e injetá-la nos sistemas de transporte (transmissão e distribuição) para que chegue aos consumidores. Especificamente no Brasil, o segmento de geração é bastante pulverizado. São atualmente 3.152 empreendimentos geradores (ANEEL, 2014).
- **Transmissão:** o sistema de transmissão brasileiro, maior e único em âmbito nacional, é controlado pelo Operador Nacional

de Sistema Elétrico (ONS), que conta com a participação de empresas de todo o país, trabalhando de forma interligada. O Sistema Interligado Nacional (SIN), formado basicamente por empresas de geração, transmissão e distribuição do país, permite o intercâmbio de energia entre as diversas regiões brasileiras (ONS, 2014).

- **Distribuição:** as concessionárias são responsáveis pela distribuição de energia elétrica ao consumidor final. Atualmente, o Brasil conta com 63 concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica, além de um conjunto de permissionárias (cooperativas de eletrificação rural que passaram pelo processo de enquadramento como permissionária de serviço público de distribuição de energia elétrica). (ANEEL, 2014).

A Figura 1 ilustra, em forma de organograma, as relações entre as diversas instituições citadas.

Figura 1: Organograma do Sistema Elétrico Brasileiro



Fonte: ONS (2014)

2.2 Condições para adesão à Geração Distribuída – Legislação

A Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril DE 2012, que “estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências” (ANEEL, 2012), determina, no Art. 2º:

Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:

- I - 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;
- II - 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;
- III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. (ANEEL, 2012.).

Compete ao consumidor a iniciativa de instalação de micro ou minigeração distribuída, ou seja, a ANEEL não estabelece o custo dos geradores e tampouco eventuais condições de financiamento. Portanto, o consumidor deve analisar a relação custo/benefício para a instalação dos geradores, com base em diversas variáveis, como, por exemplo, tipo da fonte de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa etc.), tecnologia dos equipamentos, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), valor da tarifa à qual a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica.

Vale ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão, ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade, ou seja, valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Em situação análoga, para os consumidores conectados em alta tensão, a parcela de energia da fatura será zerada, sendo que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente (ANEEL, 2014).

2.3 Solução Energética ou “Luxo Social” no Brasil

Atualmente, o Brasil conta com o total de 120 agentes registrados como mini/microgeradores (ANEEL, 2014). Apesar de o governo ter adotado medidas para facilitar a aquisição desse sistema aos consumidores, o que se pode identificar é que o crescimento é relativamente baixo para um país com mais de 200 milhões de habitantes.

Um importante entrave hoje talvez seja a falta de informação, tendo em vista que muitas pessoas não têm ou não dão a devida importância ao assunto. O impacto que o consumidor tende a perceber está relacionado ao valor pago pela energia elétrica, que tem sofrido alterações ao longo dos últimos anos. Isto faz com que a GD tenha procura apenas por “curiosos” da área e pessoas que procuram, de alguma forma, auxiliar na sustentabilidade do meio ambiente.

Outro complicador, e talvez o principal, são os altos custos relacionados à instalação do sistema. É possível fazer um orçamento preliminar de uma instalação GD através do simulador solar (AMERICA DO SOL, 2014). Trata-se de uma ferramenta digital que permite o cálculo da potência de um sistema fotovoltaico para atender à necessidade energética anual de uma residência, um escritório ou uma pequena indústria. Com o *software*, é possível realizar uma estimativa de quanto o imóvel deixaria de consumir de energia elétrica, além do proprietário ter uma noção da dimensão do espaço necessário, seja no telhado ou terreno para instalação dos módulos solares. Por exemplo, hoje, para um consumidor residencial de classe média de Florianópolis adquirir este sistema, considerando como base de cálculo um consumo de 450 kWh, estima-se um investimento aproximado de R\$ 20.000,00, apenas para aquisição dos equipamentos. Isso para abastecer até 100% da demanda, reduzindo o valor da fatura a praticamente zero.

Existem empresas especializadas em vender o sistema de GD completo. Por exemplo, o Kit Completo para Conexão à Rede Neosolar de 3,5kW, da empresa NEOSOLAR Energia Ltda., tem todos os equipamentos necessários para um sistema de geração de energia solar (NEOSOLAR ENERGIA, 2014). A empresa informa que pode gerar até 490kWh/mês na região Nordeste e até 370kWh/mês na região Sul (devido à incidência solar no Nordeste ser maior). No dia 27/10/2014, o custo informado desses equipamentos era de R\$ 23.459,00.

Analisando simplesmente o investimento que será feito para a implementação do sistema, este não é um grande atrativo para a sua utilização. Empresários e consumidores interessados nestes sistemas estão, em sua grande maioria, preocupados em saber em quanto tempo eles recuperarão o valor investido para a instalação do sistema (*payback*). Estimar qual seria o tempo de retorno de investimento na instalação analisada é crucial. Para tal, um dos itens básicos para o cálculo é o custo da energia da concessionária local. Este valor varia de local para local e, nos últimos meses, tem se mostrado muito suscetível a ações governamentais.

O Instituto Ideal, Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas para a América Latina, é uma instituição sem fins lucrativos que busca investir no desenvolvimento de fontes de energias alternativas em parceria com *Grüner Strom Label* (GSL – Selo de Eletricidade Verde, da Alemanha). O Instituto ideal criou o Fundo Solar, como forma de incentivo para que o consumidor possa

investir na produção de energia renovável. O Fundo é um apoio financeiro a consumidores residenciais e empresários que desejam instalar sistemas fotovoltaicos com até 5kW de potência. Para ganhar o benefício, o sistema precisará ser conectado à rede, integrado a uma edificação e participar do sistema de compensação de energia (conforme previsto na resolução 482, da ANEEL). O valor do recurso disponibilizado varia entre R\$ 1 mil e R\$ 5 mil, conforme a localização onde microgerador será instalado e o custo total de investimento (INSTITUTO IDEAL, 2014).

Segundo divulgado pela ANEEL no Seminário Energia + Limpas, evento realizado em maio de 2014 e promovido pelo Instituto Carbono Brasil, as experiências dos consumidores de microgeração são positivas. Nesse seminário, a ANEEL identificou, em uma pesquisa de opinião, que 98% dos entrevistados estão satisfeitos por terem instalado microgeradores, sendo um bom negócio adotar sistemas de geração em suas propriedades, em vista que trouxeram benefícios econômicos. A pesquisa de opinião da ANEEL ouviu 42 consumidores, sendo que 45% dos entrevistados afirmam ter instalado o sistema para ajudar no desenvolvimento sustentável do planeta, outros 29% buscaram essa opção devido ao retorno financeiro, outros 19% o fizeram para trabalhar com fontes de energia renováveis, e 7% restantes declararam outros motivos. A pesquisa ainda informa que para 26% dos entrevistados o valor da conta de energia elétrica diminuiu

pelo menos 75%, conforme ilustra a Figura 2 (CARBONO BRASIL, 2014).

Ainda conforme debatido no Seminário Energias + Limpas, existem muitas dificuldades, tais como o processo de aquisição do sistema, devido à demora e à falta de informação das centrais distribuidoras de energia para atender seus pedidos.

OUTRO PROBLEMA ESTÁ RELACIONADO AOS VALORES QUE SÃO COBRADOS, MUITAS VEZES ERRADOS, APÓS A AQUISIÇÃO DO SISTEMA.

Ficou diagnosticado que o custo da energia gerada com o sistema de GD ainda é alto, se comparado com o das distribuidoras, o que desestimula os investimentos. Também há que se considerar que algumas das tecnologias são importadas, sendo o custo de manutenção elevado, devido à necessidade de ser realizada por técnicos do fabricante.

Figura 2: Exemplo de redução na fatura de energia após adquirir um sistema de microgeração de energia elétrica



Fonte: Instituto Carbono Brasil (2014)

2.4 Experiências de Geração Distribuída pelo Mundo

Experiências ao redor do mundo provam que a Geração Distribuída vem para somar ao atual modelo centralizado, conquistando cada vez mais espaço na produção de energia elétrica, beneficiando os consumidores, o governo e o planeta. Além disso, pode se tornar um problema para as centrais geradoras e controladoras das redes de transmissão, que podem, com isso, perder a hegemonia do mercado de produção de energia elétrica.

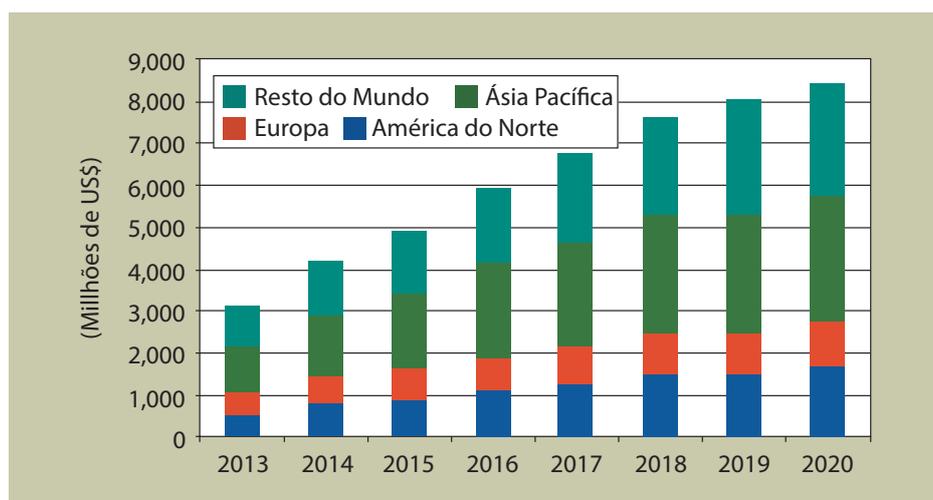
ATUALMENTE, AS GRANDES POTÊNCIAS MUNDIAIS VÊM INVESTINDO FORTEMENTE NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE FONTES RENOVÁVEIS.

A Alemanha, por exemplo, é líder na produção de energia fotovoltaica, sendo responsável pela produção de 35% da energia solar que é produzida no mundo. (ECODESENVOLVIMENTO, 2014).

Além de ser uma nova opção de produção energética, a microgeração ao redor do planeta já se mostrou muito eficiente contra as mais diversas inconsistências e dificuldades que as centrais geradoras poderiam passar, provando que, além de eficaz, é resistente. Como exemplo, tem-se o evento do furacão Sandy, em 2012, que atingiu o nordeste dos Estados Unidos. Todas as redes de microgeração em atividade nos estados de Maryland, New Jersey, Nova York e Connecticut operaram durante a tempestade e continuaram funcionando após o fim do evento, inclusive fornecendo energia para as cidades devastadas (IEEE, 2014).

A Agência Internacional de Energia (IEA), entidade que atua como a orientadora política de assuntos energéticos para seus 29 países membros, principalmente para coordenar as medidas a serem tomadas em tempos da crise do petróleo, estima que, em 2020, os países deverão dobrar o seu consumo de energia, investindo cada vez mais no modelo de microgeração, o que representará, até o ano de 2035, 80% de toda energia consumida. Presume-se que a maioria destas novas fontes de alimentação serão produzidas e distribuídas através de microgeração, oferecendo um amparo à sociedade e gerando uma economia de bilhões de dólares aos seus fornecedores (IEA, 2014). A Figura 3 ilustra o crescimento esperado.

Figura 3: Cenário mundial para receita microgeração

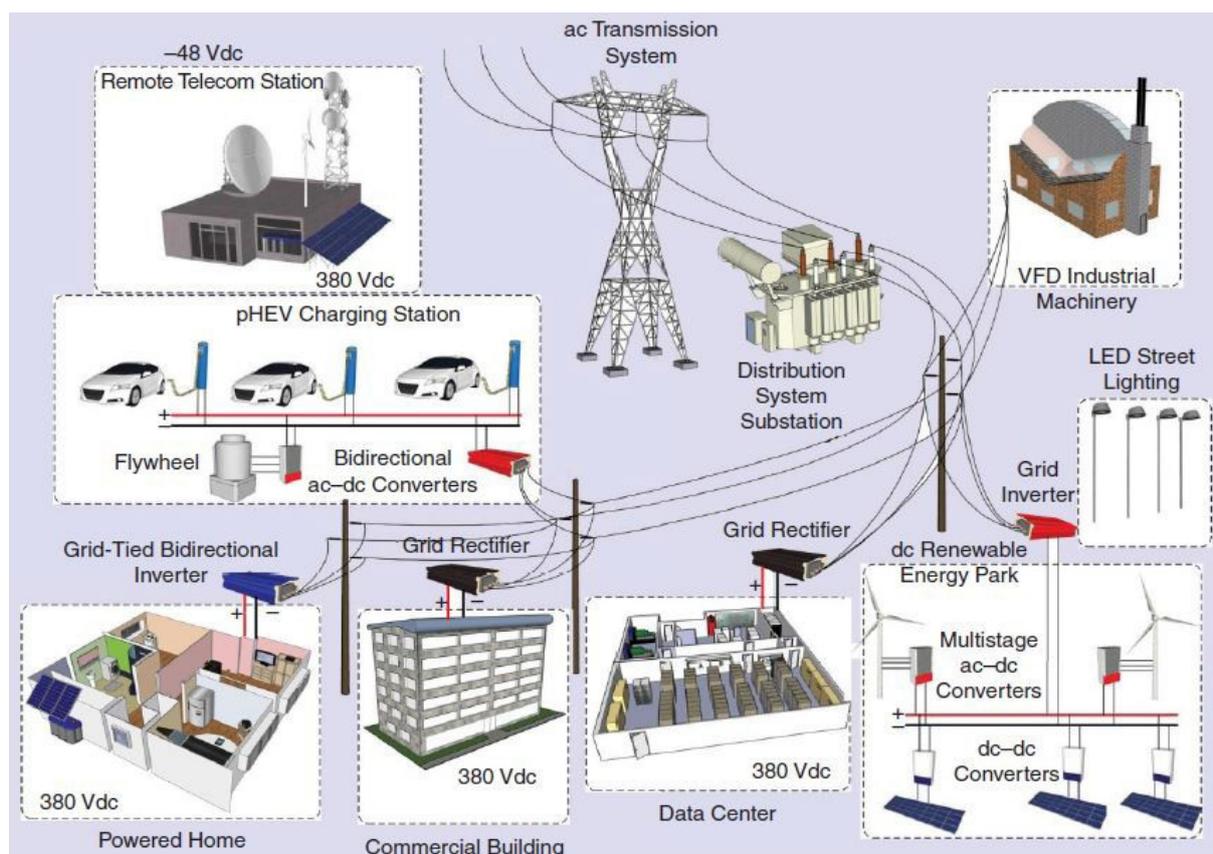


Fonte: IEEE Electrification Magazine (2014)

Em março de 2014, foi publicado o Volume 2, Número 1, da *IEEE Electrification Magazine*, uma edição especial intitulada *The Maturation of Microgrids* (IEEE, 2014). Em 108 páginas, a IEEE discute o atual cenário da geração distribuída com artigos de renomados centros de pesquisa e atores do setor produtivo. De forma geral, os textos versam sobre a quebra de paradigma pelo apontamento de experiências

e números que comprovam que a geração distribuída não é mais um “luxo social”, mas sim uma realidade de muitos milhões de dólares. O cenário futuro aponta para uma completa integração, na qual instalações podem ser cargas e geradoras, dependendo do momento. A Figura 4 ilustra esse cenário.

Figura 4: Geração distribuída em um cenário integrado



Fonte: IEEE Electrification Magazine (2014)

3 PROTÓTIPO SMGER-GMG

Conforme exposto, com a crescente demanda por micro e minigeração, o IFSC, a AQTECH e a CDSA vislumbraram um mercado promissor em relação ao monitoramento e controle dos sistemas distribuídos. A seguir, será descrito um esboço do protótipo SMGer-GMG, solução de monitoração remota em desenvolvimento. Esse equipamento faz parte do projeto ANEEL, intitulado “Nacionalização de produto para monitoramento de grupos geradores”.

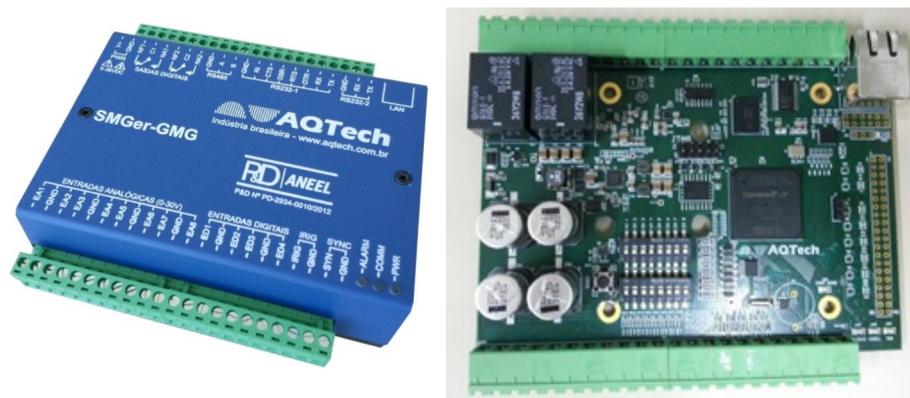
3.1 Especificações do protótipo SMGer-GMG

O protótipo SMGer-GMG é uma unidade de aquisição de dados para monitoração de Grupos Motor-Gerador (GMG), modalidade de equipamento que é aplicado a diversos segmentos da indústria e do setor elétrico em geral.

Com essa monitoração remota das variáveis do grupo gerador, o cliente obtém um melhor gerenciamento das atividades de operação e manutenção, otimizando os custos decorrentes da gestão do ativo.

A Figura 5 ilustra o protótipo.

Figura 5: Fotos do protótipo SMGer-GMG



Fonte: Dos autores (2014)

A Tabela 1 apresenta as especificações técnicas do protótipo SMGer-GMG.

Tabela 1: Especificações técnicas do protótipo SMGer-GMG

Características gerais	
8 entradas analógicas	2 saídas digitais por relé NA+NF
4 entradas digitais	Velocidade de aquisição máxima de 1,5 kHz ⁽¹⁾
Conversor analógico-digital de 12 bits	Precisão típica: <1,0% do fundo de escala
Comunicação ethernet, GSM/GPRS ⁽²⁾ ou satélite ⁽²⁾	Processamento e armazenamento dedicado
Dimensões (AxLxP): 105x135x35 mm	Alimentação 9 a 36 VDC
Peso aproximado: 200 g	Temperatura de operação: 0 a 85°C
<i>⁽¹⁾A taxa máxima de amostragem depende da configuração de software adotada. Fatores como quantidade de sinais, quantidade e intervalo de tempo de osciloscópio, modelos, transdutores, filtros e condicionamentos influenciam no desempenho.</i>	
<i>⁽²⁾Através de modem externo comunicando por portas seriais RS232 ou RS485.</i>	

Entradas analógicas	
8 entradas analógicas <i>single ended</i> (terra comum)	Configuráveis em fábrica para medição de tensão (0 a 30V) ou corrente (0 a 20mA)
Conversor analógico-digital de 12 bits	Incerteza de medição: <1% do fundo de escala
Velocidade de aquisição máxima de 1,5 kHz	Impedância de entrada > 36k ohm para faixas de tensão ou <115ohm para faixas de corrente
Resposta em frequência de DC 600Hz	Proteção contra sobretensão e sobrecorrente

Entradas digitais

4 entradas digitais	Tensão máxima de entrada 24 VDC
Tensão de chaveamento para nível lógico baixo: menor ou igual a 4 VDC	Tensão de chaveamento para nível lógico alto: maior ou igual a 8 VDC

Saídas digitais

2 saídas digitais	Contato de relé NA + NF
Corrente máxima: 5 A	Resistência máxima do contato: 100m ohms
Tempo máximo de ativação: 10ms	Tempo máximo de desativação: 5ms

Processamento e armazenamento

Processador RISC 32 bits embarcado em lógica programável ⁽¹⁾	Memória RAM DDR3 128 MB
Memória Flash 16 MB	Micro SD Card até 32 GB ⁽²⁾
⁽¹⁾ Altera NIOS II em FPGA Altera Cyclone V (tecnologia 28 nanômetros)	
⁽²⁾ Opcional	

Comunicação

2 portas RS232 para comunicação com modem GSM/GPRS ou satélite	1 porta RS485 para comunicação com CLP via protocolo ModBus RTU
--	---

Alimentação

Alimentação em corrente contínua	Tensões típicas: 12 ou 24VDC
Tensão mínima 9VDC e máxima 36 VDC	Consumo < 1,8W (150 mA@12VDC, 75 mA@24VDC)

Aspectos construtivos

Gabinete de alumínio com pintura eletrostática	Dimensões (AxLxP): 105x135x35 mm
Temperatura de operação: 0 a 85°C	Peso aproximado: 200 g

Ensaio de tipo

Imunidade a RF Conduzida	IEC61000-4-6	10 Vrms (de 150 kHz a 80 MHz) por 40 min em todas as interfaces
Imunidade a RF Radiada	IEC61000-4-3	10 V/m (de 80 MHz a 1 GHz) por 20 min nas 6 faces
Imunidade a Interrupções e Variações de Tensão	IEC61000-4-11	Interrupção até 5s e variação de até 500ms (40% e 70% da nominal) a partir de 12 V e 24 V
Imunidade a Transientes Elétricos Rápidos	IEC61000-4-4	4 kV@2min (power) e 2 kV@2min (Ethernet)
Imunidade a Surtos	IEC 61000-4-5	2 kV@2min (power) e 2 kV@2min (Ethernet)
Imunidade a Descarga Eletrostática	IEC 61000-4-2	8 kV (contato indireto e direto)
Imunidade a Campos Magnéticos na Frequência da Rede	IEC61000-4-8	30A/m por 2s a 60Hz em 3 direções
Calor seco	IEC60068-2-2	+85°C, 6 horas
Calor úmido	IEC 60068-2-30	+55°C, umidade 95%, 6 horas
Vibração sinusoidal	IEC60068-2-6	3 eixos, 2g (10Hz-200Hz), 2h por eixo
Choque mecânico	IEC 60068-2-7	Meia-senoide, 15g, 3 choques em cada face, 3 direções, 6 faces

Fonte: Dos autores (2014)

3.2 Aplicações Piloto

Um lote piloto foi fabricado e está alocado em diferentes instalações para testes de desempenho e usabilidade.

- **Aplicações piloto em grupos geradores:** a etapa de validação em campo do projeto englobou a monitoração de GMG a diesel de diversas capacidades instalados em fabricantes, integradores, locadores e clientes finais. Essas aplicações piloto foram: gerador Cummins/Motormac, instalado na sede da Motormac, em São José, SC; gerador Cummins/Motormac, instalado no canteiro de obras da Camargo Corrêa, em Laguna, SC; gerador Stemac, instalado no Condomínio Max&Flora, em Florianópolis, SC; gerador Stemac, instalado na filial da Santa Cruz Medicamentos, em São José, SC; gerador Rocha Bressan, instalado no Centro de Comunicação e Guerra Eletrônica do Exército (CCOMGEX), em Brasília, DF; gerador Corrêa, instalado na sede da Corrêa Materiais Elétricos, em Blumenau, SC. Os protótipos foram instalados em campo nestes grupos geradores, permitindo a validação de todos os componentes de *hardware* e *software* de maneira integrada. A compatibilidade do SMGer-GMG com diferentes tipos de modem e integração via Modbus RTU com as principais marcas de CLPs (Cummins, Stemac/Altus, DeepSea e ComAp) foi comprovada na prática. Em última instância, as aplicações piloto viabilizaram as funcionalidades do produto SMGer-GMG para utilização por parte de usuários e clientes finais e atendimento de suas necessidades, conforme especificado inicialmente no escopo do projeto.
- **Aplicações piloto em geradores solares fotovoltaicos:** a expansão da aplicabilidade

do SMGer-GMG para monitoramento de geração distribuída foi estendida ainda mais através da aplicação piloto em geradores solares instalados no IFSC, em Florianópolis, SC (apresentado aqui neste artigo) e na Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, em Palhoça, SC. Nestas aplicações piloto, o SMGer-GMG monitorou sinais de tensão e corrente dos painéis solares, tensão e corrente das baterias, tensão e corrente de saída do inversor, tensão da rede da concessionária e temperatura ambiente. As leituras destes dados foram armazenadas localmente nos protótipos, transferidas remotamente para o banco de dados no datacenter AQTech e disponibilizadas em sistema WEB para a análise das informações por parte dos usuários.

- **Aplicação piloto em medição hidrológica:** a aplicabilidade no setor elétrico ainda foi comprovada com a implantação do protótipo SMGer-GMG em caráter piloto para o monitoramento hidrológico, com o objetivo de atender às medições previstas na resolução conjunta nº 3, da ANA (Agência Nacional de Águas) e da ANEEL, de 03/10/2010. A aplicação piloto em questão foi realizada na empresa Vetorlog, parceira da AQTech, em Curitiba/PR, e consistiu na instalação do protótipo de forma integrada com uma estação hidrométrica. O monitoramento englobou a tensão e corrente de alimentação do protótipo e sinais de dois sensores: um sensor de nível e um pluviômetro.
- **Aplicações piloto em UHE e PCHs:** as características inovadoras alcançadas pelo produto SMGer-GMG ainda permitiram a expansão de sua aplicação para o monitoramento em 1 UHE e 3 PCHs, da Neoenergia, em fornecimento de painéis

Foram desenvolvidos dois aparatos eletrônicos: a) monitoração/medição de todas as tensões e correntes; b) controle da energia fornecida à carga pela CELESC e pelas baterias, conforme necessidade.

PARA VISUALIZAR AS INFORMAÇÕES COLETADAS, FOI CRIADO UM SUPERVISÓRIO UTILIZANDO O SCADABR.

Nele, têm-se informações da potência gerada e consumida. Aproveitou-se a instalação já existente de 14 painéis de 75W de potência de pico cada, gerando um total de 1050W. Para armazenar a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, foram utilizados quatro pares de baterias em paralelo (24V cada par, 12V cada

bateria). Para converter a energia armazenada na bateria (corrente contínua em 24V) em energia para alimentar a carga (corrente alternada em 110V), foi adquirido um Inversor CC/CA 24Vcc/127Vca com potência de 1.200W. A carga é um conjunto de dez lâmpadas fluorescentes distribuídas em cinco luminárias, todas instaladas no corredor principal do DAE. A potência instalada é de aproximadamente 450VA.

A Figura 7 apresenta os quadros onde foram instalados o controlador, proteções adicionais contra sobrecorrentes e curto-circuito, um medidor de energia elétrica digital (para comparação das leituras) e a eletrônica necessária. A Figura 7 também mostra um quadro com um equipamento protótipo da empresa AQTECH/CDSA. Em um servidor, é executado o *software* SCADABR, o qual recebe a leitura de tensões e correntes através das informações enviadas.

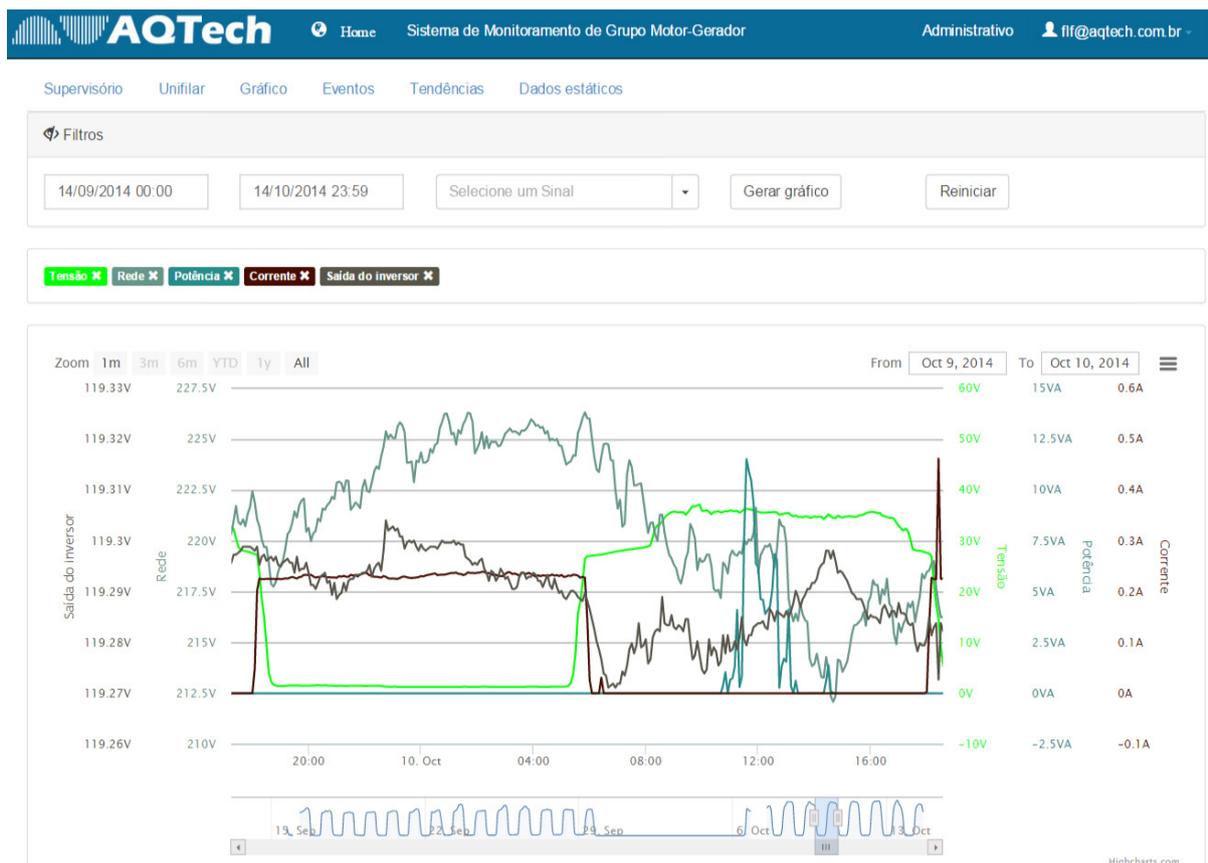
Figura 7: Quadros de monitoramento e controle instalados no corredor principal do DAE



Fonte: Dos autores (2014)

Além da exposição no servidor, as informações do monitoramento são expostas imediatamente também em um monitor na própria instalação (Figura 7). Assim, foi utilizado uma placa *Beagleboard* para, por *internet*, ter acesso ao banco de dados *web* e dispô-las no monitor (BEAGLEBOARD, 2014). A Figura 8, por sua vez, ilustra uma tela de visualização das informações.

Figura 8: Tela de visualização das informações via SCADABR

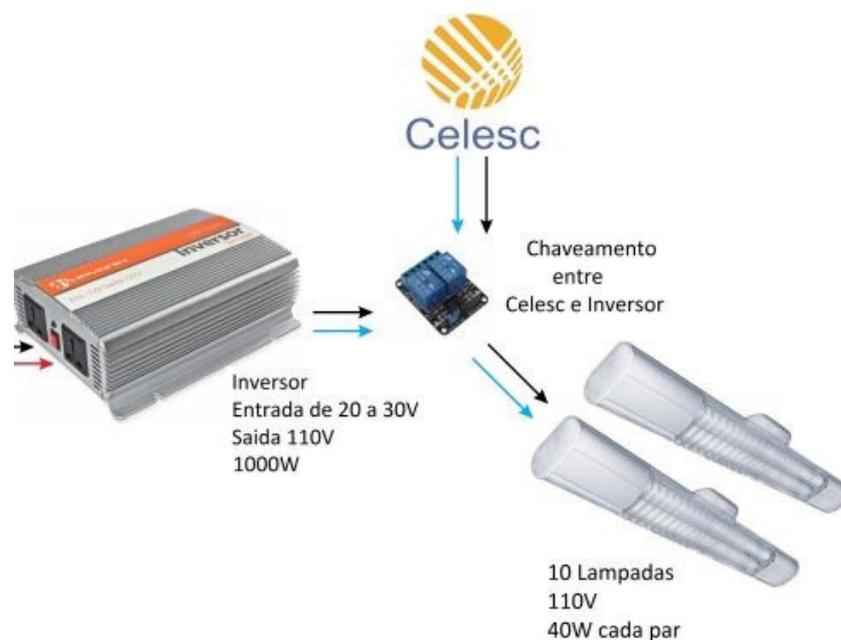


Fonte: Dos autores (2014)

Para proporcionar a economia desejada, a carga (lâmpadas) tem sua alimentação por duas opções: energia fornecida pela CELESC (concessionária local) e a energia das baterias através do inversor. Para promover esse gerenciamento, é utilizado um módulo com dois relés, que são comandados por uma plataforma eletrônica de código aberto, baseado em um *hardware* e *software* de fácil utilização – Arduino (ARDUINO, 2014). Ele trabalha com o único objetivo de comutar entre as fontes. Quando a tensão das baterias está próxima do valor mínimo admissível pelo Inversor (~21V), o microcontrolador envia comando aos relés, que

trocamos a alimentação da carga – retirando o inversor e conectando à CELESC, conforme ilustrado na Figura 9. Importante: a rede elétrica, na área de concessão da CELESC, possui, por padrão, a alimentação monofásica em 220V. Aqui, o sistema opera no lado da carga em 127V. Para a interconexão entre o inversor de frequência (127V) e a rede elétrica (220V), faz-se necessária a adequação da tensão da rede. Isto é feito por um transformador 1000W – 220/110V.

Figura 9: Comutação entre a energia gerada pelos painéis e a concessionária local CELESC



Fonte: Dos autores (2014)

4 CONCLUSÃO

Devido à grande importância que a energia elétrica tem, a atenção deve ser especial quanto aos mais variados métodos de sua produção, para que se tenha o máximo de aproveitamento, com o mínimo de desgaste ambiental. Apesar de seu custo tecnológico ainda ser elevado e possuir dificuldades legais para instalação e aquisição, a geração distribuída aparece como uma alternativa para o governo, ou seja, uma possível diminuição de investimento em redes de transmissão e distribuição. Além disso, proporcionará ao consumidor uma economia proveniente da redução do valor da fatura. Destaca-se também o baixo impacto ambiental, pois utiliza fontes de energias alternativas renováveis.

Quanto ao projeto de pesquisa, afirma-se que todos os objetivos foram cumpridos. A instalação cumpre seu papel tanto como teste para o protótipo SMGer-GMG aplicado em uma microgeração solar, como também sendo uma importante ferramenta de divulgação – uma

vez que toda a instalação pode ser visitada e operacionalizada.

O EQUIPAMENTO PILOTO SMGER-GMG FORNECIDO PARA GERENCIAMENTO E MONITORAÇÃO SE MOSTROU EFICAZ, ATENDENDO À NECESSIDADE DA INSTALAÇÃO DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA. SUA ELETRÔNICA EMBARCADA, ALIADA AO *SOFTWARE WEB*, SÃO EFICIENTES PARA MONITORAMENTO DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS ENVOLVIDAS.

Afirma-se, por fim, que o trabalho aqui apresentado é um ótimo exemplo de estudos multidisciplinares em educação profissional e tecnológica, através de pesquisa aplicada para

o desenvolvimento de novas tecnologias industriais. Parcerias de sucesso como esta, entre o IFSC, a AQTech e a CDSA e do grupo Endesa Brasil fortalecem, principalmente, a indústria catarinense, uma vez que a empresa local AQTech agora possui um novo produto para comercializar e o IFSC desenvolveu novas competências, que poderão contribuir para outros parceiros.



TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT IN MICROGRID:

CONTROL AND MANAGEMENT OF A SOLAR MICROGENERATION

ABSTRACT

It is invaluable the importance of the electricity has for survival and socio-economic development of modern society. The increase in energy demand, population and technological growth, and the environmental concerns are factors that result in increasing investments in energy production from renewable sources. The motivation of 'distributed generation', or most said 'microgrid', is to insert the energy generated by individuals in the grid already supplied by the local utility. Quite simply: with power, obtained in an alternative way, the load is supplied by microgrid. Without this availability, supplied by the concessionaire. In this context, the goal here is increasing knowledge in microgrid. For that reason, this paper first presents a reflection on the importance and the economic viability, technical and normative for microgrid. Besides, it will present what is most relevant about microgrid in the world, as well as a study about the required investments for a solar microgrid plant implementation. Then, as second part, we report an applied research project that implemented an electrical utility for solar microgrid. In partnership with local company AQTECH Engineering and Instrumentation and the multinational ENDESA Brazil, owner of CDSA company - Power Plants Cachoeira Dourada, the SMGer-GMG prototype has been used by remote monitoring solution for microgrid. This product is part of 2934.0010/2012 ANEEL project, entitled "Product Nationalization for monitoring generator sets". The installation fulfills its role, both as a test for SMGer-GMG prototype applied in a solar microgeneration, as well as being an important marketing tool. This facility is operational and open to visitors.

KEYWORDS: *Technological Development. Microgrid. Solar Microgeneration.*

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n. 482. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/AgenteGeracao/agentegeracao.cfm>>. Acesso em: 29 abr. 2015.
- AMÉRICA DO SOL. **Simulador solar**. 2014. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/simulador-solar/>>. Acesso em: 29 abr. 2015.
- ARDUINO. **O que é arduino?** 2015. Disponível em: <www.arduino.cc>. Acesso em: 20 abr. 2015.
- ABRADEE. Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. 2014. **Visão Geral do Setor**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>>. Acesso em: 22 abr. 2015.
- BEAGLEBONE. **Placa Beaglebone**. 2014. Disponível em: <www.beaglebone.org>. Acesso em: 29 abr. 2015.
- BBC. British Broadcasting Corporation. **Combustíveis fósseis**. 2014. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/especial/1931_energia/index.shtml>. Acesso em: 29 abr. 2015.
- CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. 2015. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br>>. Acesso em: 15 abr. 2015.
- ECOD. **Alemanha já responde por 35% de toda energia solar produzida no mundo**. 2013. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2013/julho/alemanha-ja-responde-por-35-de-toda-energia-solar>>. Acesso em: 23 abr. 2015.
- IEEE. *Electrification Magazine: The Maturation of Microgrids*, Volume 2, Number 1, march 2014.
- IEA. *International Energy Agency*. 2015. Disponível em: <<http://www.iea.org/>>. Acesso em: 25 abr. 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 abr. 2015.
- INSTITUTO CARBONO BRASIL. Disponível em: <<http://www.institutocarbonobrasil.org.br/#energias>>. 2015. Acesso em: 20 abr. 2015.

SOBRE OS AUTORES

INSTITUTO IDEAL. Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina. 2015. Disponível em: <www.institutoideal.org, www.institutoideal.org/seminario-energia-limpa-2014/, <http://institutoideal.org/fundo-solar-apoio-financeiro-para-instalacoes-fotovoltaicas>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, INEE. **O que é geração distribuída?** 2015. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em: 29 abr. 2015.

MORNINGSTAR. Prostar – Solar Controller. 2011. Disponível em: <http://www.morningstarcorp.com/wp-content/uploads/2014/02/ProStarENG2_111.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2015.

NAVIGANT RESEARCH. **Microgrid tecnologias facilitadora.** 2015. Disponível em: <<http://www.navigantresearch.com/research/microgrid-enabling-technologies>>. Acesso em: 29 abr. 2015.

NEOSOLAR Energia Solar Fotovoltaica. 2014. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/grid-tie-fotovoltaico-sma-460-kwh-mes.html>>. Acesso em: 29 abr. 2015.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. 2014. Disponível em: <<http://www.ons.gov.br>>. Acesso em: 29 abr. 2015.

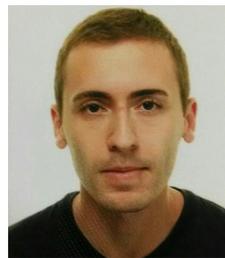
REDE INTELIGENTE. 2015. Disponível em: <<http://www.redinteligente.com.br>>. Acesso em: 29 abr. 2015.

SCADABR. 2015. Disponível em: <www.scadabr.com.br>. Acesso em: 29 abr. 2015.

ZIGBEE. 2015. Disponível em: <www.zigbee.org>. Acesso em: 15 abr. 2015.

Data de recebimento: 01/12/2014

Data de aprovação: 30/07/2015



André Luiz Silveira
Graduando em Engenharia Elétrica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, IFSC, Brasil.



Eric Marques Graduando em Sistemas Eletrônicos no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, IFSC, Brasil.



Marcelo Golin Buzzatti
Graduado em Engenharia de Sistemas pela PUC/RJ e mestre em Planejamento Energético e Ambiental pelo Programa de

Planejamento Energético do Instituto Alberto Luiz Coimbra PPE/COPPE/UFRJ. Possui experiência na área de Energia e Meio Ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: Planejamento Energético, Planejamento Ambiental, Avaliação Ambiental Estratégica e Mudanças Climáticas. Coordenador de projeto de P&D e pesquisador da ENDESA Brasil S/A.



Ricardo Luiz Alves

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2000) mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003) e Doutorado pela mesma instituição (2008). Durante seu mestrado, contribuiu para o projeto e desenvolvimento de um retificador trifásico de 26kW, com alto fator de potência de elevado rendimento. Durante seu doutorado pesquisou a concepção e análise de retificadores híbridos trifásicos unidirecionais. Atualmente é professor do Instituto Federal de Santa Catarina, ministrando as unidades curriculares relacionadas ao Controle e Acionamento de Máquinas Elétricas, Eletrônica Industrial e Fontes Alternativas de Energia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Eletrônica de Potência e Acionamentos Elétricos.



Sérgio Luciano Avila Eletrotécnico (ETFSC - 1994) e Engenheiro Industrial Eletricista (FURB-2000), possui mestrado pela UFSC (2002) e doutorado

com duplo-diploma pela Ecole Centrale de Lyon/França e UFSC (2006). Realizou seu primeiro estágio de pós-doutoramento industrial no ano de 2006 na Schneider Electric (INPG - França), onde ajudou a desenvolver uma nova tecnologia para esta empresa. Entre 2006 e 2007, atuou como Professor e Engenheiro no Centro de Tecnologia em Automação e Informática

(CTAI/SENAI), tornando-se especialista em Gerenciamento de Projetos. Em 2008, concluiu o seu segundo estágio de pós-doutoramento no LMAG/USP, onde desenvolveu um processo inovador para testes de equipamentos elétricos. Entre 2008 e 2009 atuou e coordenou projetos de P&D&I na Fundação CERTI. Entre 2009 e 2010, foi engenheiro na SC Parcerias, empresa que tem por objetivo gerar investimentos no território catarinense, responsável pela análise de viabilidade técnica, econômica e financeira de novos negócios. Atualmente é Professor e Pesquisador no Instituto Federal de Santa Catarina. Tem experiência em engenharia, computação científica, otimização e análise de sensibilidade na concepção de dispositivos e sistemas, estudos de viabilidade de negócios, gerenciamento de projetos e análise de riscos.

