



XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

Energia Solar Fotovoltaica e Universalização do Atendimento de Energia Elétrica em Áreas Remotas

Alex Artigiani N. Lima	Marta M. A. Olivieri	Eduardo L. P. Borges
ELETROBRAS	ELETROBRAS	ELETROBRAS
alex.lima@eletrobras.com	martaolivieri@eletrobras.com	eduardo_borges@eletrobras.com
	Cláudio M. Carvalho	
	ELETROBRAS	
	claudio.carvalho@eletrobras.com	

Palavras-chave

Distribuição de Energia na Região Amazônica, Programa Luz para Todos, Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares.

RESUMO

Este artigo analisa a importância do uso da energia solar fotovoltaica na universalização do atendimento de energia elétrica em áreas remotas, especialmente na região norte do Brasil e trata de pontos importantes a serem observados pelas concessionárias de energia elétrica na implantação de sistemas fotovoltaicos individuais com ênfase na experiência adquirida pela Eletrobras com o Projeto Piloto Xapuri, onde foram instalados cerca de 100 sistemas fotovoltaicos domiciliares, no âmbito do Programa Luz para Todos.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda o contexto da universalização de energia elétrica no meio rural brasileiro, no âmbito do Programa Luz para Todos. É discutida a importância do uso de fontes alternativas de energia elétrica, em especial a energia solar fotovoltaica, para o alcance das metas de universalização pelas concessionárias de energia elétrica, em áreas remotas com difícil acesso.

Neste sentido, é apresentada a experiência da Eletrobras, principalmente com relação ao Projeto Piloto Xapuri. São apresentados dados de consumo de energia elétrica, entre outras informações. São efetuadas, também, considerações sobre o tipo de tensão de saída de sistemas fotovoltaicos individuais, com base na experiência adquirida e sob o aspecto de eficiência energética. Também sob este aspecto e sob o aspecto econômico-financeiro, são comparados dois tipos de sistemas capazes de atender aos requisitos estabelecidos pelo Manual de Operacionalização do Programa Luz para Todos, sendo um deles o SIGFI30 e outro chamado SIGFI13 Robusto.

Finalmente, são efetuadas análises de pontos críticos relacionados aos sistemas fotovoltaicos individuais, a serem observados pelas concessionárias de energia elétrica, quando da implantação destes. Conclui-se que diversas ações devem ser adotadas pelas concessionárias de energia elétrica para a mitigação dos riscos e sustentabilidade deste tipo de atendimento, entretanto, um aprimoramento na regulamentação também se faz necessário.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

A Lei 10.438 de 26/04/2002 criou o mecanismo da Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, para, entre outras coisas, garantir recursos para a “universalização do serviço de energia elétrica em todo o território nacional”. Por em prática a universalização de energia elétrica no meio rural brasileiro é uma tarefa árdua principalmente para as concessionárias de energia na região amazônica. As concessionárias de energia não investiriam em eletrificação rural por causa da baixa ou inexistente atratividade do negócio não fosse o apoio financeiro governamental, onde a CDE ocupa papel fundamental. Em se tratando de comunidades isoladas os altos custos de investimento, alto risco do empreendimento e baixa rentabilidade ainda se mostram mais críticos. Por isso, a Lei 10.762, de 11/11/2003, determina que a regulamentação da ANEEL deverá levar em conta, dentre outros fatores, “a taxa de atendimento da concessionária ou permissionária, considerada no global e a capacidade técnica, econômica e financeira necessárias ao atendimento das metas de universalização”.

Para viabilizar a universalização, o Governo Federal lançou em novembro de 2003 o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz para Todos (LPT), que tinha como objetivo prover a universalização do atendimento em energia elétrica à população do meio rural brasileiro até 2010. O LPT é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) com a participação da Eletrobras, que é responsável pela análise técnico-orçamentária dos programas de obras elaborados pelos Agentes Executores, pelo gerenciamento da execução dos mesmos, pela liberação de recursos financeiros (RGR e CDE) e pela fiscalização da execução e do andamento das obras.

De 2004 a 2009, foram realizadas 2.235.332 ligações, o que corresponde a um total de mais de 11 milhões de pessoas beneficiadas no meio rural brasileiro (Eletrobras, 2009). Destas ligações há um percentual contratado entre os agentes executores e o estado, porém a maior parte é contratada entre agentes executores e Eletrobras. Até 2009 estes contratos apresentavam um acumulado de 2.206.255 ligações, sendo a distribuição das ligações por região a seguinte: Norte, 16,92%; Nordeste, 52,43%; Centro-oeste, 6,42%; Sudeste, 17,06 e Sul, 7,17%. O total de recursos contratados com a Eletrobras até 2009 foi de R\$ 10,89 bilhões, onde 71,9% já havia sido liberado.

O mapeamento da exclusão elétrica no Brasil revela que as famílias sem acesso à energia estão majoritariamente nas localidades de menor Índice de Desenvolvimento Humano e em sua maioria são famílias de baixa renda. Cerca de 90% destas famílias têm renda inferior a três salários mínimos e 80% estão na área rural (MME, 2010). Quando o Governo apóia financeiramente a eletrificação rural, ele melhora a capacidade econômica e financeira dos agentes executores e, assim, agiliza a universalização. Entretanto seu objetivo final é - utilizando a energia elétrica como vetor de desenvolvimento social e econômico - a redução da pobreza, o aumento da renda familiar e a melhoria da qualidade de vida. A energia elétrica facilita o acesso a serviços de saúde, educação, abastecimento de água e saneamento e permite a utilização de equipamentos de beneficiamento produtivo e de eletrodomésticos que trazem maior conforto às famílias.

O Programa LPT contempla o atendimento das demandas no meio rural através de três alternativas: extensão de rede de distribuição, sistemas de geração descentralizada com redes isoladas e sistemas de geração individuais. Na prática, dos 319.259 projetos cadastrados até 2009, apenas 0,12% foram ligações efetuadas por sistemas individuais (fotovoltaicos) e todo o restante foram ligações por extensão de rede (Eletrobras, 2009).

Em pesquisa da Eletrobras para levantamento de dados socioeconômicos de novos consumidores rurais, realizadas entre 2000 e 2004, em 27 estados do Brasil, foi verificado que o número de eletrodomésticos comprado no primeiro ano é alto, já o de eletro rurais nem tanto. Em todos os casos, o atendimento se deu por rede de distribuição convencional. As entrevistas por amostragem indicaram que 79% das famílias no Acre, que receberam energia elétrica há no máximo 2 anos, possuíam refrigerador; 75,3% em Rondônia, 78,8% em Tocantins e 66,4% no Pará (Eletrobras Cepel, 2006).

Amazonas, Amapá, Roraima não participaram da pesquisa. Assim, pode-se considerar que na região Norte, pelo menos, 65% das famílias atendidas por rede pelo LPT deve ter adquirido geladeira. Desta forma, a mudança do Manual de Operacionalização do LPT (MME, 2009) onde obriga que os atendimentos por sistemas individuais “deverão disponibilizar potência mínima capaz de atender as necessidades básicas dos domicílios (iluminação, comunicação e refrigeração)” vem ao encontro dos anseios verificados nas pesquisas e promove uma maior equidade aos consumidores.

A Eletrobras estima que na Região Norte há ainda cerca de 400.000 domicílios rurais a receberem energia elétrica, com perspectiva de que 10% destes deverão ser eletrificados através de sistemas de geração distribuída sejam coletivos ou individuais. Esses domicílios estariam localizados em regiões remotas, de difícil acesso onde não haveria viabilidade técnica-econômica e/ou de caráter ambiental para a realização das extensões de rede. Com essa estimativa, de pelo menos 40.000 novas ligações com sistemas descentralizados, as concessionárias do Norte ainda têm um grande desafio pela frente. Por esse motivo o MME lançou no início de 2009 o Sub-Programa de Projetos Especiais (MME, 2009), visando o estímulo e facilitação de contratação de financiamento pelo LPT para projetos de geração de energia elétrica descentralizada.

Os Projetos Especiais seriam o conjunto geração e distribuição, formado por mini ou micro usina que utiliza majoritariamente fontes renováveis de energia, compatíveis com o potencial local, e pela minirrede - pequeno trecho de rede de distribuição, da ordem de centenas de metros a poucos quilômetros. As opções de geração consideradas são: mini e micro centrais hidrelétricas; sistemas hidrocinéticos; usinas térmicas a biocombustíveis ou gás natural; microusina solar fotovoltaica; aerogeradores e sistemas híbridos, resultantes da combinação de fontes solar, eólica, biomassa, hídrica e/ou diesel. O Programa considera ainda que as minirredes podem ser redes de distribuição não convencionais para travessias subaquáticas e em florestas.

O MME e a Eletrobras haviam recebido para aprovação e análise, até maio de 2010, 20 Projetos Especiais das distribuidoras Eletrobras Amazonas Energia, Eletrobras Distribuição Rondônia, Celpa, Copel e Enersul. Destes 20, apenas um é um sistema híbrido solar-eólico-diesel backup e os outros são puramente fotovoltaicos. Todas as minirredes são de baixa tensão e a maior extensão é de 2,5 km e os portes dos sistemas variaram de 3 kW, para atendimento de 4 domicílios a 28 kW, para atendimento de 38 domicílios. A disponibilidade energética média mensal estimada é da ordem de 30 a 45 kWh/mês por domicílio.

Em trabalho da Eletrobras Cepel (2001) sobre otimização técnica e econômica de sistemas híbridos em comunidades isoladas foi apresentada a Tabela 1, que indica que as fontes energéticas solar e a partir de biomassa e biogás seriam favoráveis para uso em comunidades isoladas. Di Lascio (2005) corrobora que tecnologia que utiliza biomassa apresenta o melhor desempenho para geração distribuída na Amazônia entre as tecnologias com fontes renováveis avaliadas em seu trabalho, citando determinado conjunto nacional de caldeira e turbina para geração a partir de biomassa de resíduos agrícolas.

A tecnologia de biomassa, porém, não foi verificada em nenhum Projeto Especial recebido até então, sendo que todos os projetos são baseados em sistemas fotovoltaicos. Isso pode ser explicado por algumas razões. Os Projetos Especiais serão de responsabilidade das concessionárias de energia e elas procuram opções tecnológicas que apresentam menores custos de operação e manutenção (O&M). Por isso, nesse sentido, sistemas a diesel ou com partes girantes devem ser evitados, e ainda sistemas fotovoltaicos apresentam robustez e operação automatizada. Outro fator importante é o prazo de entrega do projeto devido ao fato do Programa LPT terminar em 2010. Projetos baseados em sistemas fotovoltaicos são simples de realizar e instalar, possuindo possibilidade de modularização do sistema tanto em relação ao dimensionamento (ampliação) quanto em relação ao transporte de equipamentos.

Em contrapartida os projetos com sistemas fotovoltaicos, devido aos elevados custos de investimento, normalmente são dimensionados para atender cargas domiciliares e pequenas cargas coletivas. Nesses

atendimentos o uso da energia elétrica para o beneficiamento produtivo fica restrito. Outra ressalva é que, apesar da indicação de “excelente” relação com o ambiente na Tabela 1, deve-se ter cuidado com o manuseio e descarte das baterias chumbo ácidas já que contem ácido sulfúrico em seu interior. A resolução do Conama 401/2008 regulamenta a prática do descarte de baterias.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens das fontes energéticas disponíveis em comunidades isoladas

Fontes energéticas	Distribuição territorial	Relação com o ambiente	Resultado econômico
Biomassa não madeira	Muito grande	Excelente	Favorável
Biogás	Muito grande	Excelente	Favorável
Solar	Muito grande	Excelente	Favorável
Vento	Pequena	Bom	Favorável
Hidráulico	Média	Média	Variável
Madeira	Muito grande	Prejudicial	Variável
Gás natural	Pequena	Prejudicial	Prejudicial
Óleo	Nula	Prejudicial	Prejudicial

Depois de quase 10 anos consecutivos de realização de obras de eletrificação rural, as concessionárias, em geral, construíram uma estrutura de implantação bem articulada e eficiente. Entretanto, em se tratando de sistemas de geração descentralizada com fontes renováveis, as concessionárias estão percorrendo um novo caminho. Apesar do relativamente fácil dimensionamento e elaboração de projetos com sistemas fotovoltaicos, estes ainda não fazem parte da rotina das concessionárias. Considerando a universalização do atendimento de energia elétrica e que as concessionárias lancem mão da opção de atendimento por esses sistemas, elas precisarão de planejamento sobre a gestão dos mesmos e, dependendo do número de sistemas, realizar adequação na sua estrutura de O&M. Para minimizar os custos de O&M, é de vital importância prezar pela qualidade dos equipamentos e da execução da própria instalação, pois impacta substancialmente no custo de manutenção da concessionária. A elaboração de um projeto básico adequado, com uma cuidadosa especificação de equipamentos certificados, dos serviços e das garantias, com estabelecimento de mecanismos efetivos de fiscalização da qualidade dos serviços executados, além do treinamento e acompanhamento do usuário final e capacitação dos técnicos, são elementos fundamentais para a minimização de riscos. Provavelmente a licitação com a modalidade de técnica e preço e a contratação por *turn key* são as mais adequadas para esse tipo de instalação e serviço.

Nesse contexto, a Diretoria de Planejamento e Engenharia da Eletrobras vem estimulando a realização de estudos e projetos pilotos com sistemas descentralizados com fontes renováveis de energia. Inicialmente, foram criados acordos de cooperação técnica com duas concessionárias: Eletrobras Distribuição Acre e as Centrais Elétricas do Pará S.A. (Celpa). Estão em fase de elaboração, outros termos de cooperação com Eletrobras Distribuição Rondônia, Eletrobras Amazonas Energia e CEMAR e COELBA.

3. PROJETO PILOTO DE ARARAS

O acordo de cooperação entre Celpa, Eletrobras, conta ainda com o apoio da Agência do Governo Alemão de Cooperação Técnica – GTZ, e visa a implantação e acompanhamento de sistemas de geração descentralizada com energia renovável e distribuição por minirredes nas ilhas de Araras, no município de Currealinho/PA. Estes projetos, que se encontram no âmbito dos Projetos especiais do LPT, serão implantados até o final de 2010 e beneficiarão 76 famílias. São quatro sistemas independentes: um sistema híbrido, utilizando tecnologia fotovoltaica e eólica para geração de energia,

com gerador diesel como backup, e mais três sistemas utilizando puramente a tecnologia fotovoltaica. O Projeto Piloto de Araras tem como objetivo o desenvolvimento, a implantação e a avaliação de um modelo sustentável de eletrificação rural com possibilidade de ser adotado pela Celpa, em atendimento a outras comunidades isoladas de seu mercado rural potencial. Espera-se que seus resultados também possam ser úteis a outras concessionárias da região. Atualmente (maio de 2010) o projeto está em fase de contratação *turn key* da empresa que fornecerá os equipamentos, todo o serviço de instalação, comissionamento e garantias dos sistemas.

4. PROJETO PILOTO XAPURI

O acordo de cooperação entre Eletrobras Distribuição Acre, Eletrobras e GTZ resultou no Projeto Piloto de Xapuri. Este projeto contempla 103 sistemas fotovoltaicos domiciliares (SFD) em três seringais pertencentes ao município de Xapuri no Acre (Eletrobras, 2008). Os sistemas foram instalados, sob a responsabilidade da Eletrobras Distribuição Acre, em junho a agosto de 2007 e, desde então, são acompanhados.

No piloto, há três tipos de sistemas de atendimento, conforme apresentado na Tabela 2. No projeto também são analisados os desempenhos de três refrigeradores horizontais eficientes instalados em três unidades consumidoras (UC) dos seringais, Os refrigeradores são alimentados em corrente contínua, têm volume de 120 litros e consumo declarado pelos fabricantes de 6 kWh/mês (constatado em ensaio na Eletrobras Cepel (2006) de acordo com condições específicas).

Tabela 2 - Sistemas de Atendimento do Projeto Piloto de Xapuri

Seringal	Sistema de Atendimento	UC	Potência Fotovoltaica	Bateria (Ah/C20)	Classe de Atendimento
Iracema	Corrente Alternada (CA)	31	3 x 85 Wp	2 x 150	SIGFI13
Dois Irmãos	Misto (CA + CC)	35	3 x 85 Wp	2 x 150	≥ 13 kWh/mês
Albrácea	Corrente Contínua (CC)	37	3 x 85 Wp	2 x 150	≥ 13 kWh/mês

Todos os sistemas fornecem no mínimo 13 kWh/mês, porém somente os sistemas de Iracema atendem a Resolução Normativa da Aneel 083/2004, que estabelece que o fornecimento de energia elétrica deva ser exclusivamente em corrente alternada. Segundo esta resolução, estes sistemas são classificados como SIGFI13. No caso do SIGFI, é utilizada a menor irradiação média mensal (“pior mês”) para o seu dimensionamento, obtida em alguma fonte confiável de dados. Assim, em todos os outros meses do ano, o usuário, provavelmente, terá acesso a mais energia que naquele pior mês. Utilizando o sistema principalmente durante o dia (quando há sol), o sistema permitirá um consumo ainda maior, pois se evitam as perdas nas baterias que são em torno de 20%. Na Figura 1 são apresentadas fotos de dois domicílios atendidos pelo projeto piloto.



Figura 1 - Unidades consumidoras em Xapuri: a) escola em Albrácea e b) casa em Dois Irmãos

Após um ano de instalação dos SFD, o consumo médio de energia, no Projeto Piloto de Xapuri, foi superior a 10 kWh/mês para 22% dos consumidores e foi inferior a 3 kWh/mês para um terço deles. Dados mais atuais, de seis casas que são monitoradas continuamente por sistema automatizado de aquisição de dados (SAAD), juntamente com informações do técnico que acompanha os sistemas, indicam que a maioria dos domicílios apresenta consumo médio mensal inferior, porém próximo, a 13 kWh/mês. Foram coletados dados de duas casas com geladeiras CC referentes ao último semestre de 2009. Os consumos médios verificados de 27,7 kWh/mês (Dois Irmãos) e 17,6 kWh/mês (Iracema), representaram um aumento de 48 e 44% no consumo de energia elétrica dessas casas, respectivamente, em relação ao ano anterior. Em uma das casas de Iracema foi derivado um circuito em CC para possibilitar a conexão do refrigerador, já que os sistemas neste Seringal apresentam apenas saída em CA. Em Dois Irmãos, a casa que tem o refrigerador fica próxima ao local onde as embarcações partem do seringal e o usuário utiliza o refrigerador para comercializar bebidas.

A Figura 2a apresenta gráficos com curvas de carga levantadas no seringal Iracema, onde pode ser feita a comparação entre períodos com cerca de 1 ano de diferença. Há contribuição do refrigerador somente na curva referente a 2009. A Figura 2b apresenta as curvas de carga do domicílio em Iracema, onde as cargas em CC e em CA estão discriminadas, sendo que a curva de carga em CC apresenta apenas o consumo da geladeira.

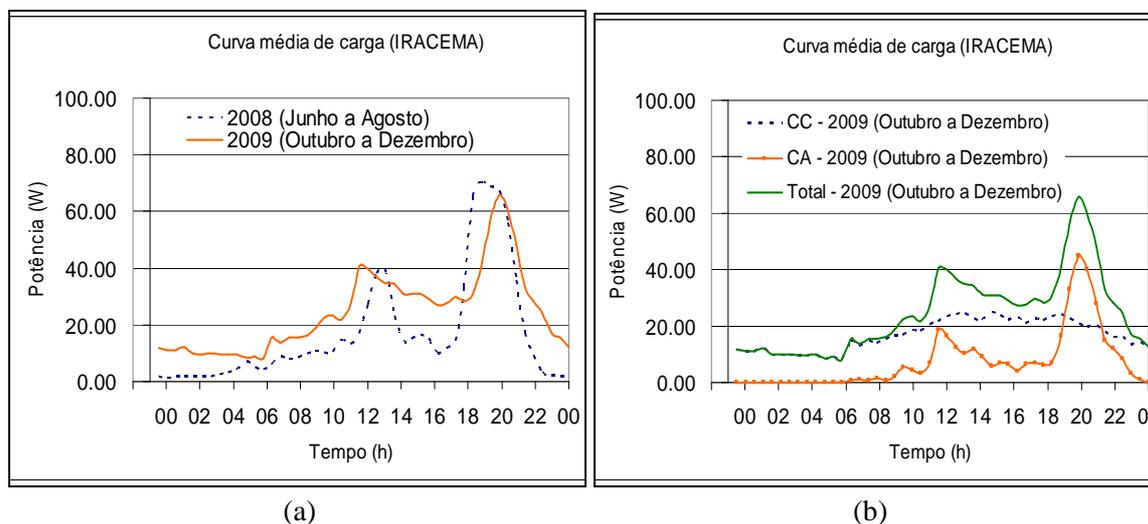


Figura 2 – Curvas de carga de Iracema-casa1: a) comparação entre 2008 e 2009, b) curva de 2009 desmembrada nas curvas CA e CC (somente refrigerador) de carga.

Constata-se que os sistemas do projeto de Xapuri foram aptos para alimentar os refrigeradores, porém não foram projetados para a faixa de consumo verificada com eles, principalmente aquele constatado em Dois Irmãos. Os sistemas de Xapuri podem apresentar uma disponibilidade média de $23 \pm 10\%$ kWh/mês, considerando uma irradiação solar média de $5,27 \pm 10\%$ kWh/m²/dia (no plano inclinado de 15°), uso prioritário do sistema fotovoltaico durante o dia e cargas mais “pesadas” em CC. O usuário de Dois Irmãos, com um consumo médio de 27,7 kWh/mês, está operando no limite do sistema e sobrecarregando as baterias. Ressalta-se ainda que esse consumo médio foi obtido nos meses de maior irradiação solar, agosto a outubro, que é de cerca de 5,7 kWh/m²/dia.

A partir desses dados pode-se ter, pelo menos, duas conclusões importantes. A primeira é que para haver possibilidade de conexão de uma geladeira em um SIGFI13, esta deve ser muito eficiente, horizontal e de pequeno porte - provavelmente com volume máximo de 50 a 70 l, dada a subutilização da mesma verificada em campo, e seu uso deve ser exclusivamente domiciliar, onde seu consumo não ultrapasse 5 ou 6 kWh/mês. A outra conclusão é que, optando-se por uma geladeira de maior porte, eficiente e em corrente contínua, como as instaladas no Projeto de Xapuri, o SIGFI projetado deveria

disponibilizar, no mínimo, 18 a 20 kWh/mês para não haver sobrecarga do sistema e conseqüente diminuição da vida útil da bateria.

Considerando as experiências do Projeto Piloto Xapuri, verificou-se que a opção de atendimento por um sistema misto apresentaria vantagens em relação ao sistema exclusivo em CA por questões econômicas, de eficiência energética e de confiabilidade. Com base nesta experiência, a utilização de um sistema mais robusto que o sistema SIGFI13 misto implantado em Xapuri, com fornecimento em corrente alternada de 13kWh/mês, inversor de 250W e autonomia de 2 dias do banco de baterias, e fornecimento adicional de outros 10 kWh/mês, no mínimo, para alimentação de cargas em CC, se mostraria também adequado para atendimento dos requisitos estabelecidos no Manual de Operacionalização do Programa Luz Para Todos.

Entretanto, conforme a Resolução Normativa Aneel 083/2004, o atendimento ao consumidor deve ser efetuado exclusivamente em corrente alternada. O Manual do LPT estabelece que os sistemas de geração individual devem prover pelo menos os serviços de iluminação, comunicação e refrigeração. Neste caso, o SIGFI30 seria o menor sistema fotovoltaico que atenderia às exigências do referido manual e da Resolução Normativa 083/2004, dado o consumo das geladeiras eficientes em corrente alternada existentes no mercado onde o consumo mínimo é de 15,7 kWh/mês (Eletrobras-Procél, 2009).

As motivações para que a Resolução 083/2004 estabelecesse o atendimento por SIGFI exclusivamente em corrente alternada foram: a) o conceito de pré-eletrificação com SFD em regiões que está prevista uma eletrificação por redes em médio prazo; b) evitar a criação de obstáculos para o acesso a equipamento de uso de energia, uma vez que com corrente contínua serão necessários equipamentos diferenciados em técnica e preço; c) equidade de atendimento para todos os consumidores.

Entretanto, em regiões remotas da Amazônia o conceito de pré-eletrificação não se aplica pelo fato de os projetos para eletrificação por redes nestes locais não apresentarem viabilidade técnica-econômica e/ou ambiental. Em muitas destas regiões, o SFD é a tecnologia mais adequada.

Considerando que há principalmente dois eletrodomésticos bastante adquiridos pelos consumidores do Projeto Piloto de Xapuri que não se encontram facilmente em versões de corrente contínua, sendo esses o ventilador e o liquidificador, a sugestão é que os sistemas, até SIGFI30, fossem mistos: Corrente Contínua + Corrente Alternada (CC+CA). Sendo CC 12 V para aproveitar mercado já existente na região de equipamentos para embarcações e caminhões. O esquema do sistema misto utilizado no Seringal Dois Irmãos do Projeto Xapuri é apresentado na Figura 3.

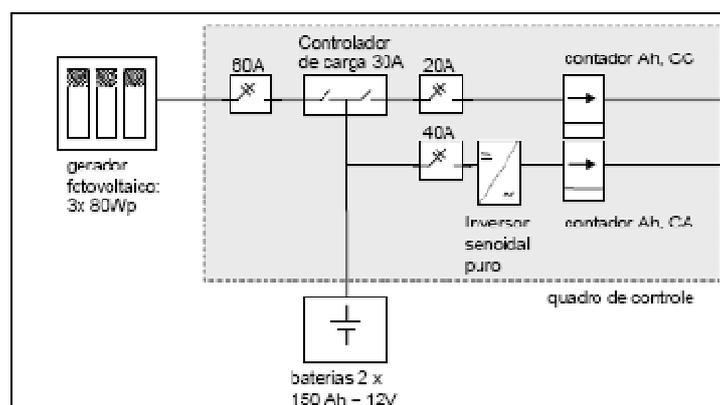


Figura 3 - Esquema do unifilar do sistema misto (CC + CA) de Dois Irmãos

Entretanto, apesar dos equipamentos de alta eficiência em 12Vcc significarem uma vantagem econômica considerável relacionada a evitar os altos custos de investimento dos sistemas, sua aquisição pode ser realmente um obstáculo na medida em que o mercado é bem mais restrito que o de equipamentos CA. Seria necessário um estímulo ao acesso aos equipamentos CC pela concessionária, autoridades locais ou outras instituições que possam apoiar o consumidor.

5. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SIGFI13 ROBUSTO e SIGFI30

A recomendação do sistema misto foi resultado de experiência no Projeto Piloto de Xapuri. O sistema proposto é chamado de SIGFI13 Robusto e não de SIGFI23 porque o SIGFI23 não consta na regulamentação. O SIGFI13 Robusto ainda seria classificado como um SIGFI13, porém com disponibilidade energética mínima de 23 kWh/mês, a fim de melhor atender à exigência de refrigeração do Manual do LPT. Entretanto, em termos de fatura, a concessionária continuaria com a referência de 13 kWh/mês. Em relação à regulamentação vigente, a concessionária teria que pedir autorização à Aneel para o uso de corrente contínua numa parcela da disponibilidade energética do sistema fotovoltaico.

A descrição dos dois sistemas citados para o atendimento dos domicílios isolados na Amazônia – SIGFI30 e SIGFI13 Robusto – encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Configuração dos sistemas SIGFI30 e SIGFI13 Robusto com geladeira

SIGIFI 30	SIGIFI 13 Robusto com geladeira
Módulos fotovoltaicos: 600 Wp; Banco de baterias: 520 Ah @C20; Controlador de Carga 45 A; Inversor de 500 W; Estrutura de suporte para todo o sistema; Disponibiliza no mínimo 30 kWh/mês, sendo previsto 18 kWh/mês de consumo para uma geladeira CA eficiente e 12kWh/mês para outros serviços. Valor de investimento = 1 PU (considerando o SIGFI30 + geladeira eficiente CA)	Módulos fotovoltaicos: 370 Wp; Banco de Baterias: 300 Ah @C20; Controlador de Carga de 30 A; Inversor de 300 W; Geladeira CC até 120 l; Estrutura de suporte para todo o sistema, porém mais leve; Disponibiliza no mínimo 23kWh/mês, sendo previsto 10 kWh/mês de consumo para a geladeira CC e 13 kWh/mês para outros serviços. Valor de investimento = 0,73 PU

Com a utilização mais restrita do inversor, reduzem-se os custos de manutenção e aumenta-se a confiabilidade e a eficiência energética do sistema.

Dentre os equipamentos de consumo, a geladeira eficiente representa o maior potencial para redução no custo investimento do sistema. Embora o custo de uma geladeira eficiente em corrente contínua seja maior que o de uma geladeira eficiente em corrente alternada, o porte de um sistema necessário para atender a primeira geladeira eficiente é consideravelmente menor do que aquele necessário para atender a segunda geladeira, o que reduz o investimento no conjunto (sistema solar fotovoltaico mais geladeira eficiente) em cerca de 27%. O cálculo estimado foi realizado considerando milhares de sistemas instalados no Acre e Amazonas e preços cotados em outubro de 2009.

A seguir são apresentadas algumas questões sobre equipamentos, importantes para a tomada de decisão sobre a instalação e acompanhamento dos sistemas fotovoltaicos.

6. PONTOS CRÍTICOS SOBRE EQUIPAMENTOS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

6.1. Baterias

Os componentes de um sistema de geração de energia elétrica instalado em um local remoto e de difícil acesso devem apresentar elevada vida útil, além de boas condições de operação e desempenho nos locais onde são instalados de forma que a manutenção e substituição destes componentes sejam mitigadas.

Dentre os principais componentes de um sistema fotovoltaico, a bateria é o componente que apresenta o maior impacto no custo geral de reposição ao longo de sua vida útil, dado o seu elevado custo (cerca de 1/4 do custo total dos materiais) e uma baixa vida útil em relação aos outros componentes do sistema. Dependendo do tipo construtivo, a bateria pode apresentar de 2 a 7 anos, de vida útil, já o

inversor e controlador apresentam 8 a 10 anos de vida útil, enquanto os módulos fotovoltaicos, 20 anos.

As experiências com sistemas fotovoltaicos individuais mostram que o tipo de bateria normalmente utilizado é do tipo bateria estacionária e livre de manutenção e referida neste documento como bateria comum. Já para sistemas coletivos, a bateria do tipo OPzS é comumente utilizada por apresentar maior confiabilidade e robustez.

Doze baterias comuns utilizadas no projeto piloto de Xapuri foram retiradas para serem testadas após 1 ano e quatro meses de uso e apresentaram capacidades abaixo de 80%, ou seja, todas se apresentaram em fim de vida útil. É comum se referir a um tempo de vida de 3 anos para baterias comuns em sistemas fotovoltaicos individuais (Eletrobras Cepel, 2010), porém, via de regra, nesse período as baterias estão com sua capacidade bastante limitada. Com base na experiência do Projeto Piloto de Xapuri, no qual foram utilizados baterias comuns, pode-se estimar que 1/3 das baterias dos sistemas fotovoltaicos individuais já chegam ao final de sua vida útil após 1 ano de uso, o outro terço, após 2 anos, e o último terço entre 3 e 4 anos. Logicamente que essa estimativa tem forte influência do dimensionamento e da qualidade do sistema fotovoltaico e da sua utilização pelo usuário. Com este desempenho, a frequência de troca da bateria estacionária comum pode inviabilizar sua utilização em locais remotos na Amazônia.

A bateria estacionária comum livre de manutenção de placas planas apresenta menor número de ciclos em relação à bateria OPzS (Rusch; Zuehlsdorf, 2006). Esta diferença se deve, principalmente, ao tipo construtivo: a bateria estacionária comum contém placas positivas planas ao passo que a bateria OPzS apresenta placas positivas tubulares encapsuladas. As placas tubulares são rodeadas por invólucros permeáveis ao eletrólito que minimizam a perda de parte ativa durante a reação química, desta forma estendem a vida útil da bateria principalmente em se tratando do uso da bateria em regime de ciclagem. A diferença na vida útil também se deve ao fato da bateria OPzS apresentar uma maior quantidade de massa ativa relativamente à bateria comum. As baterias OPzS são chamadas de baterias de ciclo profundo e são projetadas para profundidades de descarga de até 80% enquanto para as baterias comuns não se recomenda ultrapassar o nível de 50%.

De acordo com catálogos de equipamento do fabricante, verifica-se que, para uma profundidade de descarga diária de cerca de 30%, a bateria estacionária comum teria uma vida útil em torno de 700 ciclos, ou cerca de dois anos, enquanto que a bateria OPzS, para a mesma profundidade de descarga, teria uma vida útil em torno dos 5.000 ciclos, ou cerca de treze anos.

Conforme análises financeiras com base nos dados de Xapuri (Eletrobras, 2008) e em estudo de Fleury et al. (Eletrobras Cepel, 2010), os custos de manutenção e reposição dos sistemas fotovoltaicos em locais remotos podem ser mais atrativos quando da utilização de baterias OPzS em relação à da bateria estacionária comum. Outro ponto favorável à OPzS em relação à bateria comum, é a postergação de campanhas de trocas de baterias, que passariam de 2 a 3 anos para 6 ou mais². Isto apresenta vantagem para as distribuidoras de energia elétrica, uma vez que ainda precisam se estruturar para a realização da manutenção destes sistemas em larga escala.

6.2. Inversores

Dentre os principais equipamentos que compõe um sistema fotovoltaico, o inversor é o item com maior índice de falhas, segundo informações de alguns projetos instalados na Amazônia com sistemas fotovoltaicos, como, por exemplo, o Projeto de Xapuri e o Projeto Ribeirinhas.

No sistema de atendimento através do SIGFI30 em vigor, todo o fornecimento é feito em corrente alternada, ou seja, é dependente do inversor. Já em um sistema misto SIGFI13 Robusto, como

² Este tempo de vida útil é declarado por fabricantes e por especialistas, mas a Eletrobras ainda não tem comprovação por experiência em campo para sistemas fotovoltaicos com ciclagem diária. Um dado importante é que a garantia de baterias OPzS normalmente é de 5 anos, enquanto a da bateria estacionária comum é de 2 anos.

proposto neste artigo, haveria continuidade do serviço de refrigeração, caso o inversor apresentasse defeito, uma vez que a geladeira seria alimentada diretamente em CC. O mesmo poderia ocorrer com o serviço de iluminação, caso esta fosse alimentada em CC. Como no sistema misto SIGFI13 Robusto, a geladeira é ligada em corrente contínua, o sistema se torna mais eficiente, na medida em que diminui as perdas no inversor, que são cerca de 15 a 20% da potência de entrada.

No caso do SIGFI30, o inversor tem que atender a corrente de partida do compressor de uma geladeira, juntamente com as outras cargas ligadas, ou seja, estes inversores precisam apresentar uma alta potência de surto e ser mais robustos que aqueles que não precisam alimentar o refrigerador CA. Assim, é fortemente recomendável que o fabricante ou fornecedor demonstre que o inversor funciona adequadamente com as cargas previstas no projeto do sistema, já que não há nenhum certificado neste sentido. Sugere-se ainda que esse teste seja item obrigatório para aquisição dos inversores.

Ainda, para qualquer tipo de inversor ou de equipamento eletrônico que irá operar em uma região como a região amazônica, são necessárias uma proteção adicional contra umidade (em geral uma cobertura de resina) e uma ótima dissipação de calor, preferencialmente por elemento passivo, e ventilação apropriada no local de trabalho.

6.3 Refrigeradores

Como já mencionado, o Manual de Operacionalização do Programa Luz Para Todos estabelece que os sistemas de geração individuais devem prover pelo menos os serviços de iluminação, comunicação e refrigeração.

No caso do atendimento pelo SIGFI30, que a princípio seria somente em CA, a geladeira mais eficiente encontrada na lista do Selo Procel (Eletrobras-Procel, 2009) é um refrigerador com consumo declarado de 15,7kWh/mês. Esse consumo pode se verificar diferente em campo, dadas as condições reais de uso. As geladeiras CC do Projeto Piloto de Xapuri apresentaram consumo superior a duas vezes ao declarado devido às condições de uso no local.

A utilização de refrigerador 12Vcc traz as seguintes implicações: sua manutenção e reposição são difíceis, principalmente na região Norte; não são certificados pelo INMETRO; a fabricação no Brasil ainda é limitada e este tipo de refrigerador normalmente é menor e mais caro do que os convencionais. O preço de mercado das geladeiras CC instaladas pelo Projeto Piloto de Xapuri pode variar de R\$ 2.000 a R\$ 3.000, o que inviabilizaria a sua aquisição pela maioria dos usuários dos seringais estudados, cuja renda média mensal familiar era um pouco maior que 1 salário mínimo (Eletrobras & GTZ, 2008). O refrigerador CC só se torna viável quando da análise do custo evitado em geração.

Apesar dos riscos descritos relacionados a geladeira CC, devido aos bons resultados do Projeto de Xapuri, acredita-se que a inclusão da geladeira CC no kit de atendimento do Programa Luz para Todos reduziria o risco de insucesso do atendimento, pois evita que o usuário compre uma geladeira ineficiente e inadequada, que não funcione no sistema fotovoltaico, resultando na insatisfação do consumidor e prejuízo da imagem da concessionária e do Programa. Entretanto, a geladeira do kit, além de ser eficiente e horizontal, deveria ter um menor volume, de cerca de 70 a 80 litros, pois foi verificada sua subutilização em campo. Isso traria benefícios tanto em termos de redução de consumo quanto de preço.

A configuração SIGFI13 Robusto com geladeira ainda é financeiramente mais atrativa que a do SIGFI 30 e, portanto, ocasionaria um aumento do valor agregado do sistema com diminuição do custo final para o Programa LPT. O sistema SIGFI13 Robusto sem geladeira não é recomendado, pois a grande maioria dos moradores atendidos não teria condições financeiras de adquirir uma geladeira CC e também pelo fato da geladeira CA comum não funcionar no sistema SIGFI13.

6.4 Lâmpadas

As principais vantagens da lâmpada CC seriam: a) inibição da substituição de lâmpadas eficientes por incandescentes, o que ocorre frequentemente com as lâmpadas fornecidas pelo LPT; b) maior

eficiência do sistema; e c) continuidade do serviço de iluminação em caso de falha do inversor.

Uma desvantagem é que as lâmpadas CC atualmente não possuem etiqueta do Inmetro, ou seja, não há a referência de um órgão oficial isento, acerca dos dados de catálogo dos fabricantes das lâmpadas. Segundo informações da Eletrobras Cepel, a experiência indica que lâmpadas 12Vcc usadas no Brasil apresentam desempenho inferior às convencionais em relação à durabilidade e eficiência luminosa.

Cotações obtidas (outubro de 2009) das lâmpadas fluorescentes compactas CC com reator embutido indicaram preços na faixa de R\$ 20 a 25, enquanto as da lâmpada fluorescente compacta CA, resultaram em preços na faixa de R\$ 7 a 10. Assim, conclui-se que a opção de iluminação CC é interessante, porém o custo elevado das lâmpadas fluorescentes compactas em CC traria dificuldades para os moradores em substituí-las. Isso poderia ser contornado caso fosse fornecido, a exemplo do projeto Xapuri, uma luminária para lâmpadas fluorescentes com reator embutido e, também, se pudesse ser encontrado no mercado local lâmpadas fluorescentes para utilização nestas luminárias de boa qualidade e custo inferior aos verificados para as lâmpadas CC compactas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A continuidade da universalização do atendimento de energia elétrica tem se tornado um enorme desafio para as concessionárias de energia elétrica, em especial para as concessionárias da região norte no alcance da universalização em áreas remotas de difícil acesso, onde a extensão de redes de distribuição não é viável sob os aspectos econômicos, técnicos ou ambientais. Para mitigar o impacto financeiro gerado por atendimento nestas localidades, as concessionárias procuram opções tecnológicas que apresentam menores custos implantação, operação e manutenção (O&M). Neste sentido, projetos baseados em sistemas fotovoltaicos, apesar de apresentarem um custo de investimento relativamente alto, têm sido a melhor opção para as concessionárias pela simplicidade de instalação, possibilidade de modularidade e de operação automatizada, robustez e consolidação dos equipamentos e menores esforços de manutenção, devido a serem sistemas estáticos.

Entretanto, verificam-se diversos obstáculos para implantação de sistemas fotovoltaicos em larga escala como regulamentação incipiente, falta de experiência e estrutura para gerir este tipo de atendimento por parte das concessionárias de energia e baixo índice de nacionalização dos componentes destes sistemas. Além disso, qualquer sistema para atendimento de pequenas cargas em áreas isoladas e remotas apresenta um alto custo de operação e manutenção aliada à baixa receita gerada, sendo, portanto, não atrativo sob o aspecto econômico.

Para mitigar estes problemas, diversas ações se fazem necessárias como a adoção de medidas de eficiência energética no dimensionamento e uso dos sistemas, incentivo ao acesso de equipamentos eficientes aos usuários finais, aprimoramento da regulamentação vigente, de forma a considerar as especificidades deste tipo de atendimento.

As concessionárias de energia têm enfrentado um dilema ao ter que escolher entre opções de atendimento por geração descentralizada com sistemas coletivos ou sistemas individuais. Um bom parâmetro para basear a decisão é analisar quais são as opções viáveis de atendimento e os custos de geração envolvidos. O fato de não existir uma regulamentação específica para as minirredes, gera insegurança às concessionárias na utilização destas, e faz com que as concessionárias tendam a preferir a adoção de sistemas individuais mesmo em comunidades onde os sistemas coletivos se mostrariam mais viáveis tecnicamente. As concessionárias, em geral, possuem uma boa estrutura de implantação de obras de eletrificação rural, entretanto, em se tratando de sistemas de geração descentralizada com fontes renováveis, há necessidade de nova aprendizagem e estruturação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio do engenheiro Dennys da Eletrobras Distribuição Acre e da engenheira

Giorgiana Freitas da CELPA. Agradecimentos aos pesquisadores da Eletrobras Cepel, Guilherme Fleury e Marco Galdino, e da IEE-USP, Prof. Roberto Zilles e André Mocelin, e ao engenheiro Carlos Alvarenga pelas discussões técnicas. Agradecimentos também aos técnicos das empresas Orbe, Unitron, Steca, Studder, Unicoba, New Power, Saturnia, BAE, Nife, TAB, Johnson Controls, Moura, entre outros, que forneceram informações importantes para a elaboração deste artigo.

8. REFERÊNCIAS

- Aneel, Resolução Normativa no 083 de 20 de setembro de 2004.
- Di Lascio, Marco A., 2005. Relatório técnico PNUD 415/2005: Avaliação de alternativas tecnológicas de atendimento de comunidades isoladas da Amazônia com energia renováveis. Projeto BRA 99/011 – UGP/LPT.
- Eletrobras, 2009. Relatório de Administração.
- Eletrobras/GTZ/Eletrobras Distribuição Acre, 2008. Ações para Disseminação de Fontes Renováveis de Energia - Projeto Piloto de Xapuri, Relatório final de acompanhamento apresentado a Aneel em outubro de 2008.
- Eletrobras/GTZ, 2008. Avaliação socioeconômica da implantação dos sistemas fotovoltaicos domiciliares de Xapuri – Relatório da 1ª etapa de avaliação (fase ex-ante), junho de 2008.
- Eletrobras-Procet, Selo Procet, 2009. Refrigerador de uma porta, Rev.01-09, de 25/03/2009.
- Eletrobras Cepel, 2001. Relatório Técnico DPP/PER 689/01: Otimização técnica e econômica de sistemas híbridos para comunidades isoladas – caso estudo com os sistemas típicos dos atendimentos solares PV do projeto Comunidades Ribeirinhas.
- Eletrobras Cepel, 2006. Sistema IMPAR: banco de dados das pesquisas de campo sobre eletrificação rural realizadas pela Fundação Padre Leonel Franco em 21 estados entre 2000 e 2004.
- Eletrobras Cepel, 2007. Relatório Técnico DTE 42141/07: Implementação de estrutura laboratorial para avaliação de refrigeradores CC e primeiras análises.
- Eletrobras Cepel (Guilherme Fleury W. Soares, Leonardo dos Santos Reis Vieira, Marco Antônio Esteves Galdino), 2010. Relatório Técnico DTE-745/2010: Comparação de custos entre sistemas fotovoltaicos individuais e minicentrais fotovoltaicas para eletrificação rural.
- MME, 2009. Manual de Operacionalização do Programa Luz para Todos – versão 6.0.
- MME, 2009. Manual de Projetos Especiais – Programa Luz para Todos.
- MME, 2010. Texto em *website* do Programa Luz para Todos, http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp
- Rusch, Wieland; Vassallo, Keith & Hart, Gary (sem data). Flooded (Vla), Sealed (Vrla), Gel, Agm Type, Flat Plate, Tubular Plate: The When, Where, And Why. How Does The End User Decide On The Best Solution?; R&D General Manager Entrepreneur & BAE Batterien GmbH BAE Corporate G.K. Hart POWER Inc.; Berlin & Ontario.
- Zuehlsdorf, Peter; Rusch, Wieland, 2006. Characteristics Of Batteries For Solar Applications; BAE Batterien GmbH, Berlin.