

COMPARAÇÃO ENTRE DOIS TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INDIVIDUAIS ADEQUADOS PARA ELETRIFICAÇÃO RURAL

Marta Maria de Almeida Olivieri – martaolivieri@eletrobras.com

Alex Artigiani Neves Lima – alex.lima@eletrobras.com

Eduardo Luis de Paula Borges – eduardo_borges@eletrobras.com

Cláudio Monteiro de Carvalho – claudio.carvalho@eletrobras.com

Gabriel Henrique Clemente e Silva – gabriel.h.silva@eletrobras.com

Eletrobras - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

3.4 - Sistemas Fotovoltaicos Autônomos e Híbridos

Resumo. Este trabalho apresenta alguns resultados do Projeto Piloto de Xapuri no Acre onde foram instalados 103 sistemas fotovoltaicos domiciliares do tipo SIGFI13. Adicionalmente apresenta a comparação entre dois tipos de sistemas fotovoltaicos individuais capazes de atender aos requisitos de iluminação, comunicação e refrigeração estabelecidos pelo Ministério de Minas e Energia no âmbito do Programa de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica. São analisados pontos críticos destes sistemas a serem observados pelas concessionárias na implantação dos sistemas fotovoltaicos domiciliares em comunidades remotas. Os resultados do Projeto Xapuri demonstraram que a opção de atendimento por um sistema misto (corrente contínua e corrente alternada) seria a mais indicada por questões econômicas e de eficiência energética e daí, a proposta do SIGFI13 robusto. Entretanto, a regulamentação atual estabelece que o fornecimento da energia elétrica deva ser feito, exclusivamente, em corrente alternada. Assim, o SIGFI30 seria o menor sistema capaz de atender tanto ao Manual de Operacionalização do Programa quanto à Resolução Normativa ANEEL 083/2004.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistema Fotovoltaico Domiciliar, Eletrificação Rural, Programa de Universalização

1. INTRODUÇÃO

Para tornar possível o benefício da energia elétrica nos locais mais remotos da floresta Amazônica, a Eletrobras, por meio de sua Diretoria de Planejamento e Engenharia, vem realizando estudos e projetos que utilizam fontes renováveis de energia para a geração de energia elétrica.

Há cerca de três anos, a Eletrobras, no âmbito do Programa de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, implantou, em parceria com a Eletrobras Distribuição Acre e a GTZ, agência do governo Alemão de Cooperação Técnica, um projeto piloto em comunidades isoladas nos seringais da Reserva Extrativista Chico Mendes em Xapuri que levou energia elétrica a 103 famílias através de sistemas fotovoltaicos individuais. Cada sistema instalado tem disponibilidade energética mínima de 15 kWh por mês, levando em consideração o mês de menor incidência de irradiação solar. De acordo com Resolução 083/2004 da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, que estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento de energia por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes, estes sistemas são classificados como SIGFI13 (ANEEL, 2004).

Com base nos resultados obtidos em Xapuri, o presente trabalho apresenta a comparação entre dois tipos de sistemas capazes de atender aos requisitos mínimos estabelecidos na Portaria 085/2009 do Ministério de Minas e Energia – MME, que aprovou o Manual de Operacionalização do Programa de Eletrificação Rural. Um desses sistemas é o sistema SIGFI30 com fornecimento de energia elétrica em corrente alternada e o outro é um sistema SIGFI13 Robusto com fornecimento de energia elétrica em corrente contínua e alternada. São feitas, também, análises de pontos críticos, sob aspectos de desempenho, custo, qualidade, eficiência energética, consumo energético etc, de equipamentos e sistemas fotovoltaicos, considerando a implantação desses sistemas em larga escala.

2. PROJETO PILOTO DE XAPURI

O Projeto Piloto de Xapuri 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, de junho a agosto de 2007 e, desde então, são acompanhados. No piloto, há três tipos de sistemas de atendimento, conforme apresentado na Tab. 1, pois um dos objetivos do projeto é avaliar as opções de solução para o atendimento das comunidades isoladas. No projeto também são analisados os desempenhos de três refrigeradores horizontais eficientes, com consumo declarado pelos fabricantes de 6 kWh/mês (constatado em ensaio no CEPEL (2006) de acordo com condições específicas), alimentados em 12 V de tensão contínua, com volume de 120 litros, instalados em três casas dos seringais, alimentados pelos sistemas SIGFI13 em questão.

Na Fig. 1 são apresentadas fotos de dois domicílios atendidos pelo projeto piloto.

Tabela 1 - Sistemas de Atendimento do Projeto Piloto de Xapuri

Seringal	Sistema de Atendimento	Unidades Consumidoras	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 e são classificados como SIGFI13, pois segundo esta resolução o fornecimento de energia elétrica deve ser exclusivamente em corrente alternada. Como o fornecedor dos painéis fotovoltaicos do Projeto de Xapuri entregou módulos de potência maior que a requisitada, a disponibilidade mínima verificada em Iracema foi de 15 kWh no pior mês e não de 13 kWh como projetado. Como foram usados os mesmos módulos nos sistemas dos três seringais, isso influenciou a todos. Porém, verificou-se que a disponibilidade energética mínima em Iracema é menor que em Dois Irmãos (16 kWh/mês) e, em ambos, menor que em Albrácea (18 kWh/mês) devido às perdas no inversor: em Albrácea não há inversor no sistema e em Dois Irmãos a utilização é parcial, pois as lâmpadas são alimentadas por um circuito CC. 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%.

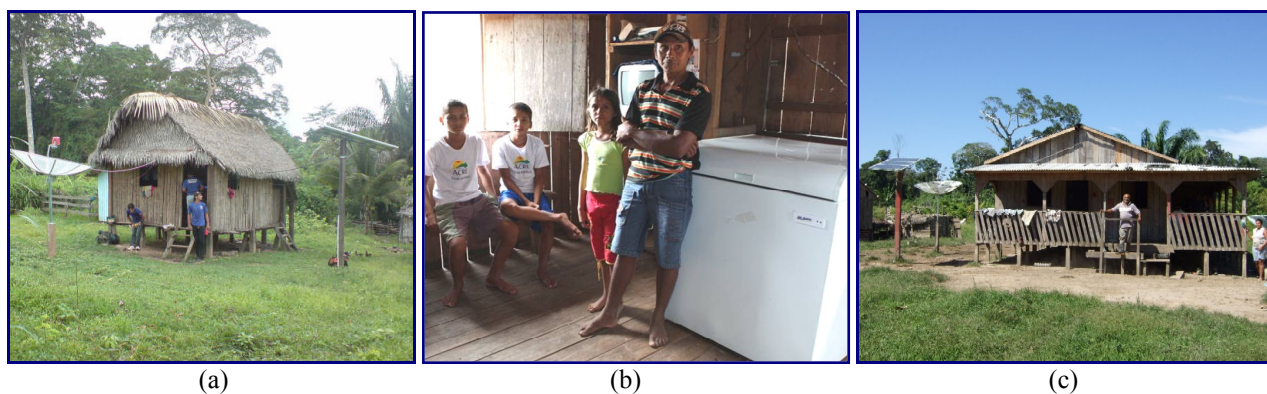


Figura 1 - Fotos de domicílios onde foram instalados os SFD: a e b) em Albrácea e c) em Dois Irmãos

Dados sobre consumo de energia

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 (Tab. 2), 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. Duas casas com geladeiras¹ CC, entretanto, apresentaram consumos médios² (referentes ao último trimestre de 2009 que se tem dados) de 27,7 kWh/mês (Dois Irmãos) e 17,6 kWh/mês (Iracema). Isso representou 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 armazenar bebidas que são vendidas aos transeuntes.

As Figs. 2, 3 e 4 apresentam gráficos com curvas de carga levantadas em três casas, onde pode ser feita a comparação entre as curvas de carga de períodos com cerca de 1 ano de diferença. Nas curvas da Fig. 2, não há contribuição de geladeira. Nas Figs. 3 e 4, há contribuição do refrigerador em todas as curvas referentes a 2009. A

¹ Foi instalada também uma geladeira CC em um domicílio de Albrácea em setembro de 2009, porém ainda não foram colhidos dados após essa data.

² A demanda média mensal, em kWh, é obtida através do tratamento de dados oriundos do SAAD. As grandezas de tensão (V) e corrente (A) são medidas em canais individuais do SAAD e o cálculo da potência a cada período de 30 minutos (W) armazenado em outro canal. Os dados armazenados no SAAD são exportados e tratados em planilha Excel. Foi calculada a curva de carga média diária para cada período considerado. O valor médio mensal do consumo (kWh/mês) é calculado com base nesta curva de carga média.

Fig. 4b apresenta as curvas de carga do domicílio em Iracema, onde as cargas em CC e em CA aparecem separadas, sendo que a curva de carga em CC apresenta apenas o consumo da geladeira.

Tabela 2 – Consumo médio mensal de energia elétrica de seis casas do Projeto Xapuri monitoradas por SAAD

Seringal	CC (kWh)	CA (kWh)	TOTAL (kWh)	CC (kWh)	CA (kWh)	TOTAL (kWh)	CC (kWh)	CA (kWh)	TOTAL (kWh)
<i>Período</i>	<i>2007 (Setembro a Novembro)</i>			<i>2008 (Julho a Setembro)</i>			<i>2009 (Janeiro)</i>		
Albrácea Casa 1	2,74	—	2,74	12,68	—	12,68	12,90	—	12,90
Albrácea Casa 2	0,95	—	0,95	1,04	—	1,04	x	x	x
<i>Período</i>	<i>2008 (Janeiro a Março)</i>			<i>2009 (Janeiro a Março)</i>			<i>2009 (Agosto a Outubro)</i>		
Dois Irmãos Casa 1	4,49	12,71	17,20	13,27*	7,55	20,82	21,67*	6,06	27,73
Dois Irmãos Casa 2	1,03	11,00	12,03	1,16	8,30	9,46	1,26	5,68	6,93
<i>Período</i>	<i>2008 (Junho a Agosto)</i>			<i>2009 (Junho a Agosto)</i>			<i>2009 (Outubro a Dezembro)</i>		
Iracema Casa 1	—	12,22	12,22	—	14,40	14,40	12,21*	5,40	17,61
Iracema Casa 2	—	12,43	12,43	—	13,13	13,13	x	x	x

Obs.: 1)* consumo incluindo o do refrigerador; 2)“x” significa que ainda não houve dados coletados no período.

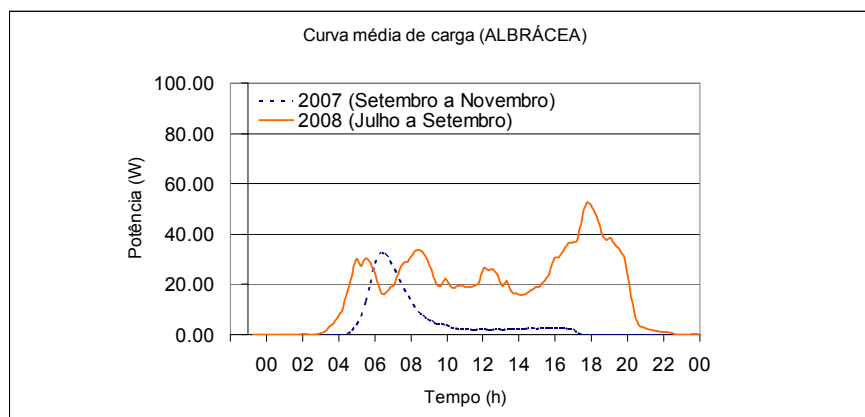


Figura 2 – Curvas de carga de Albrácea-casa1 atendida só com CC.

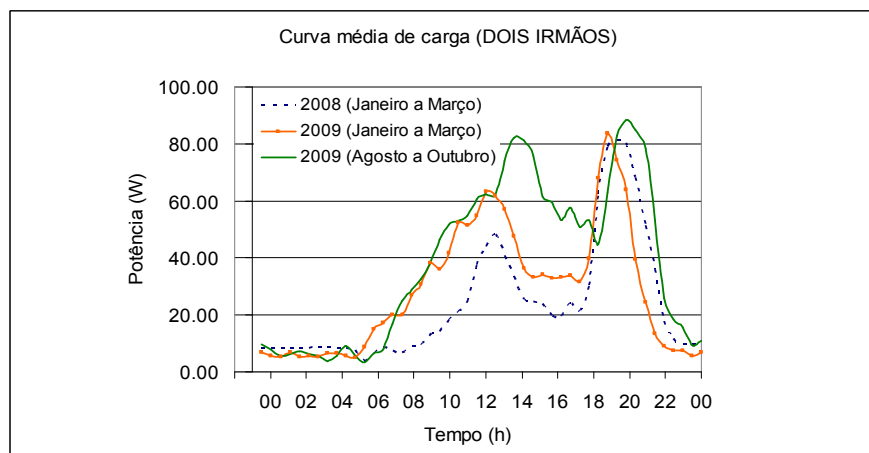


Figura 3 – Curvas de carga de Dois Irmãos-casa1 com sistema misto, onde geladeira (só 2009) e lâmpadas são alimentadas em CC.

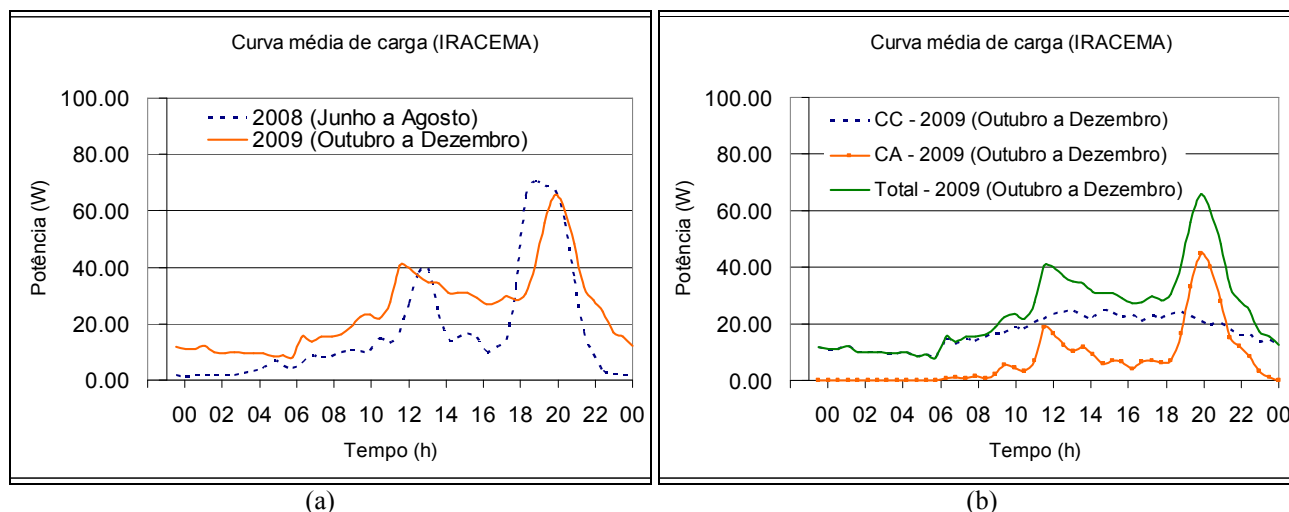


Figura 4 – Curvas de carga de Iracema-casa1: a) comparação entre 2008 e 2009, b) curva de 2009 desmembrada nas curvas CA e CC de carga, onde a curva CC representa a demanda do refrigerador.

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 expondo as baterias a descarga excessiva. 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, pois a utilização se dá para garrafas de água e alguma carne - e seu uso deve ser exclusivamente domiciliar, onde o 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.

3. QUESTÕES SOBRE O TIPO DE TENSÃO DE SAÍDA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Sistema misto CC + CA

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. Em muitas das regiões em que o SFD é a tecnologia mais adequada, os projetos para eletrificação por redes não apresentarão viabilidade técnica-econômica e/ou ambiental.

Tecnicamente, somente maiores sistemas isolados fotovoltaicos (a partir de 500Wp) necessitariam de inversores, pois as correntes em 12 Vcc seriam bastante elevadas. Os autores consideram a tensão contínua de 12 Vcc como referência devido ao mercado já existente na região de equipamentos para embarcações e caminhões. Porém a aquisição de equipamentos em corrente contínua pode ser realmente um obstáculo. De um lado os equipamentos de alta eficiência em 12 Vcc significam uma vantagem econômica considerável relacionada a evitar os altos custos de investimento dos sistemas. Do outro lado, esses equipamentos necessitam de estímulo ao acesso dado pela concessionária, autoridades locais ou outras instituições que possam apoiar o consumidor.

Em relação à equidade, 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, sejam mistos: Corrente Contínua + Corrente Alternada (CC+CA). O esquema do sistema misto utilizado no Seringal Dois Irmãos do Projeto Xapuri é apresentado na Fig. 5.

A recomendação do sistema misto foi resultado de experiência no Projeto Piloto de Xapuri. Não se deve desprezar a questão da eficiência energética, que aumenta quando se evita as perdas no inversor. No item seguinte, isso será discutido mais detalhadamente. Outro ponto é a confiabilidade. Houve 47 intervenções em Iracema (seringal atendido

exclusivamente em CA), ou seja, mais de uma intervenção por casa, quase todas devidas a um problema não esperado nos inversores deste seringal (dentro da garantia do mesmo e sem custo para a Concessionária). Esses inversores de 300 W, equipados com desligamento automático, usados neste projeto haviam sido recém lançados no mercado e apresentaram problemas no projeto eletro-eletrônico, que foi solucionado posteriormente.

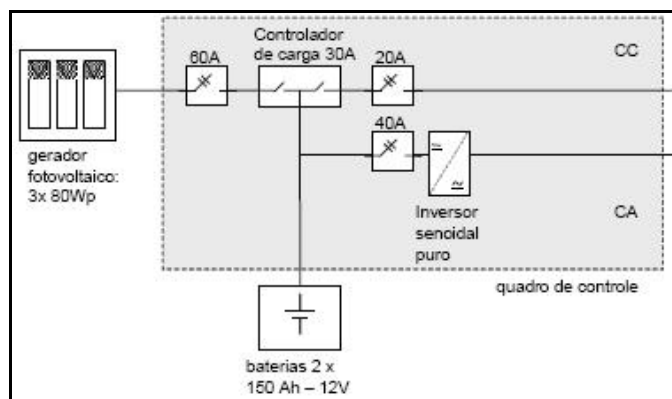


Figura 5 - Esquema do unifilar do sistema misto (CC + CA) de Dois Irmãos

Além dos problemas ocorridos devido à imaturidade técnica dos inversores de pequeno porte, ressalta-se que o inversor é um elemento a mais no sistema e por isso mais um ponto de falha. Pode-se concluir que, utilizando-o de forma mais restrita, reduzem-se os custos de manutenção e aumenta-se a confiabilidade do sistema. Os serviços básicos de energia, como iluminação, refrigeração e comunicação, devem ser assegurados com o menor risco de falha possível. Realizando esses serviços básicos em corrente contínua, elimina-se uma fonte de falha: o inversor.

Um inconveniente do sistema misto é que o usuário poderá apresentar maiores dificuldades em entender o funcionamento do sistema e se confundir na aquisição de eletrodomésticos e lâmpadas, por isso, para este tipo de sistema, a orientação do usuário torna-se ainda mais importante.

Eficiência energética

Hoje, as tarifas residenciais (classe B1) homologadas pela ANEEL variam de 0,20 a 0,41 R\$/kWh (sem tributos), para consumidores residenciais ligados à rede (ANEEL, 2010), e assim, considerando essas tarifas, muitas medidas de eficiência energética se tornam economicamente viáveis. Com os custos de geração de energia do SFD de 4 a 7 R\$/kWh, como base nos dados do Projeto Piloto de Xapuri, a eficiência energética se torna um ponto crítico e obrigatório no dimensionamento e uso dos sistemas.

Além do custo de energia deve-se considerar o custo de investimento em cada kWh de disponibilidade energética mínima por mês. Por exemplo, a utilização de 3 lâmpadas fluorescentes de 15 W, no lugar de lâmpadas da mais nova tecnologia com 11 W (disponibilizando a mesma quantia de lumens), operando por 3 horas por dia, custaria R\$ 600 a mais de investimento no sistema. O custo das lâmpadas, porém, é quase o mesmo.

Outra informação importante é que, segundo a pesquisa socioeconômica realizada em 2006, a renda média mensal familiar dos moradores dos três seringais era um pouco maior que 1 salário mínimo (Eletrobras & GTZ, 2008). Assim, devido à baixa renda dos consumidores aliada ao alto custo de geração onde a eficiência energética se faz indispensável, seria bastante interessante tanto do ponto de vista econômico quanto do social que fosse facilitado o acesso a eletrodomésticos eficientes.

Dentre os equipamentos de consumo, a geladeira eficiente representa 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%, como pode ser visto no gráfico da Fig. 6. O cálculo estimado foi realizado considerando milhares de sistemas instalados no Acre e Amazonas e preços cotados em outubro de 2009.

4. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SIGFI13 ROBUSTO e SIGFI30

Conforme a Resolução Normativa ANEEL 083/2004, o atendimento ao consumidor deve ser efetuado exclusivamente em corrente alternada. A Tab. 3 mostra as classificações dos SFD, chamados SIGFI – Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes, daquela resolução.

O Manual de Operacionalização do Programa de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica estabelece que os sistemas de geração individual devem prover pelo menos os serviços de iluminação, comunicação e refrigeração (MME, 2009). 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-PROCEL, 2009).

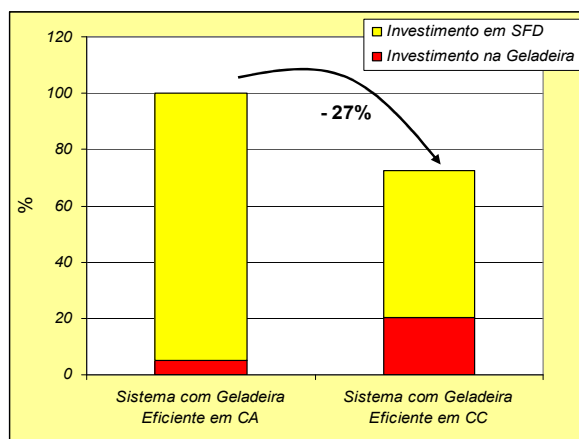


Figura 6 – Comparação entre os custos de investimento em sistema fotovoltaico domiciliar com geladeira eficiente

Tabela 3 - Classificação e disponibilidade de atendimento

Classes de Atendimento	Consumo Diário de Referência (Wh/dia)	Autonomia Mínima (dias)	Potência Mínima Disponibilizada (W)	Disponibilidade Mensal Garantida (kWh)
SIGFI13	435	2	250	13
SIGFI30	1000	2	500	30
SIGFI45	1500	2	700	45
SIGFI60	2000	2	1000	60
SIGFI80	2650	2	1250	80

Entretanto, 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, como discutido anteriormente. 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 13 kWh/mês, inversor de 250 W 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.

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 Programa de Eletrificação Rural. Entretanto, em termos de fatura, a concessionária continuaria com a referência de 13 kWh/mês. Em relação a 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 Tab. 4.

Tabela 4 – Configuração dos sistemas SIGFI30 e SIGFI13 Robusto com geladeira

SIGIFI 30	SIGIFI 13 Robusto com geladeira
1) Módulos fotovoltaicos: 600 Wp; 2) Banco de baterias: 520 Ah @C20; 3) Controlador de Carga 45 A; 4) Inversor de 500 W; 5) Estrutura de suporte para todo o sistema; 6) Disponibiliza no mínimo 30 kWh/mês, sendo previsto 18 kWh/mês de consumo para uma geladeira CA eficiente e 12kWh/mês para outros serviços.	1) Módulos fotovoltaicos: 370 Wp; 2) Banco de Baterias: 300 Ah @C20; 3) Controlador de Carga de 30 A; 4) Inversor de 300 W; 5) Geladeira CC até 120 l; 6) Estrutura de suporte para todo o sistema, porém mais leve; 7) Disponibiliza no mínimo 23kWh/mês, sendo previsto 10 kWh/mês de consumo para a geladeira CC e 13 kWh/mês para outros serviços.

5. ANÁLISE DE PONTOS CRÍTICOS NA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Neste item são apresentadas algumas informações sobre equipamentos importantes dos sistemas fotovoltaicos individuais como bateria e inversor, assim como sobre alguns equipamentos do lado da carga como refrigerador e lâmpada a fim de trazer a tona possibilidades nem sempre tão claras aos técnicos de concessionárias e também questões críticas na implantação e acompanhamento dos sistemas fotovoltaicos.

Baterias

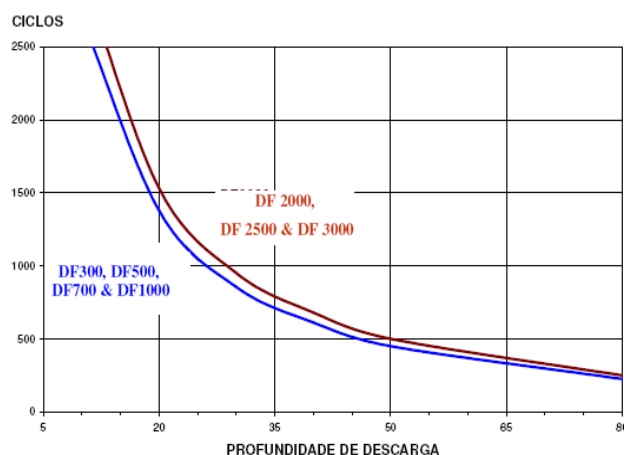
Qualquer sistema de geração de energia elétrica instalado em um local remoto e de difícil acesso proporciona serviços de manutenção onerosos devido aos custos de deslocamento e dificuldade de transporte dos materiais. Sob este aspecto, os componentes deste sistema remoto devem apresentar elevada vida 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.

A bateria é o componente de um sistema fotovoltaico 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.

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 CEPTEL, 2010), porém, via de regra, nesse período as baterias estão com sua capacidade bastante limitada. Com base na experiência do Projeto Piloto de Xapuri, 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.

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. Já as baterias do tipo OPzV, são baterias VRLA e também livres de manutenção, sendo bastante utilizadas como *backup* de energia em sistemas de telecomunicações. OPzS e OPzV são designações pela norma DIN de bateria estacionária com placas positivas tubulares (em alemão *Panzer platten*) que significa placas reforçadas. Ambas são baterias chumbo-ácidas, sendo que a primeira é ventilada com eletrólito líquido e a segunda é regulada a válvula com eletrólito imobilizado (gel). Um breve estudo foi realizado para levantar vantagens e desvantagens destes dois tipos de baterias, a fim de avaliar se o seu uso seria atrativo em sistemas remotos.

A bateria estacionária comum livre de manutenção de placas planas apresenta menor número de ciclos em relação às baterias OPzS e OPzV (RUSCH; ZUEHLSDORF). Esta diferença se deve, principalmente, ao tipo construtivo: a bateria estacionária comum contém placas positivas planas ao passo que as baterias OPzS e OPzV apresentam as placas positivas tubulares encapsuladas. As placas tubulares são rodeadas por envólucros 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. Os gráficos das Figs. 7 e 8 mostram exemplos de curvas do número de ciclos em função da profundidade de descarga para os três tipos de baterias citadas. A diferença na vida útil também se deve ao fato das baterias OPzS e OPzV apresentarem uma maior quantidade de massa ativa relativamente à bateria comum. As baterias OPzS e OPzV 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%.



Fonte: Manual técnico da bateria estacionária modelo Freedom DF, fabricação Johnson Controls.

Figura 7 – Exemplo de curvas nº de ciclos x profundidade de descarga para bateria estacionária comum a 25°C

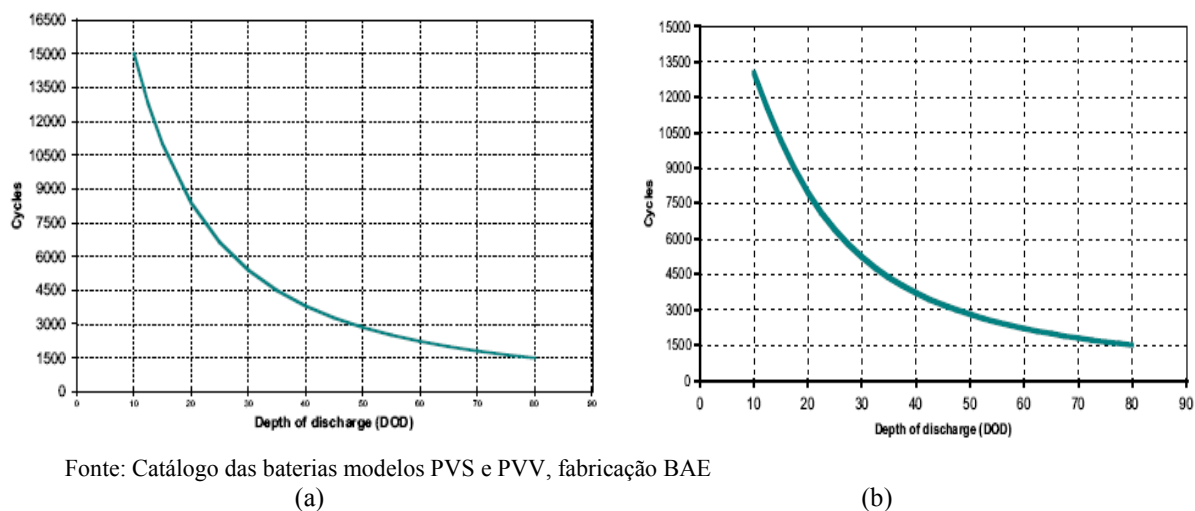


Figura 8 – Exemplo de curva nº de ciclos x profundidade de descarga (DOD) para baterias (a) OPzS a 20°C e (b) OPzV a 20°C

Pelos gráficos extraídos de 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 nas outras duas baterias, para a mesma profundidade de descarga, teriam uma vida útil em torno dos 5.000 ciclos, ou cerca de treze anos.

Em relação às baterias com placas tubulares, a principal diferença entre as baterias OPzS e OPzV está no eletrólito. Na bateria OPzS o eletrólito é ácido sulfúrico (H_2SO_4) em estado líquido com separadores especiais e sua reposição pode ser efetuada enquanto que na bateria OPzV o eletrólito é H_2SO_4 em forma gelificada e a reposição do eletrólito não é permitida. Esta diferença do estado do eletrólito faz com que a bateria OPzS seja menos sensível à temperatura que a bateria OPzV, justamente devido ao eletrólito líquido absorver e dissipar melhor o calor.

As duas baterias apresentam um elevado número de ciclos à temperatura de 25°C, entretanto a bateria OPzV sofre uma significativa redução da vida útil com o aumento da temperatura. Segundo informação de fabricantes, estima-se que se for considerada uma temperatura média de 30°C e máxima em torno de 40°C na região Amazônica, a bateria OPzV apresentaria menos da metade da vida útil de uma bateria OPzS a 20°C, enquanto que esta praticamente não teria a sua vida útil reduzida nesta faixa, como mostra a curva da Fig. 9, por exemplo.

Com o aumento da temperatura e também em caso de sobrecarga, ocorre aceleração da velocidade de reação entre os eletrodos e o eletrólito da bateria e é aumentada a produção e liberação dos gases oxigênio e hidrogênio do eletrólito. Na bateria OPzV ocorre a desidratação do gel, e como ela é livre de manutenção pois não permite reposição de água, sua vida útil é significativamente reduzida. Já para a bateria OPzS, mesmo com perda significativa de água do eletrólito, se houver a adequada reposição periódica com água destilada e não houver perda abaixo do nível mínimo permitido, a vida útil da bateria poderá não ser alterada. Segundo informações de fabricantes de baterias, estima-se que a reposição periódica poderia ser feita anualmente para os sistemas SFD de atendimento na Amazônia, dentro de certas condições de uso e de projeto.

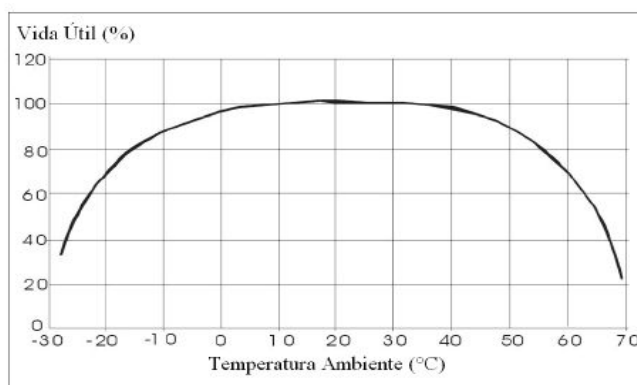


Figura 9 – Curva vida útil da bateria OPzS em função da temperatura

Para todos os tipos de baterias são necessárias inspeções periódicas para cumprimento de garantia, como, por exemplo, medição de temperatura, medição da tensão, limpeza dos terminais etc, conforme indicado nos manuais

técnicos. Pelo fato da bateria OPzV não permitir o controle da densidade do eletrólito e pelo fato das caixas da mesma não permitirem a visualização interna, torna-se mais difícil detectar o estado da bateria.

Outro ponto a ser destacado é que na bateria OPzV a possibilidade de ocorrência de avalanche térmica é muito maior que na OPzS. Quando a temperatura aumenta, a resistência interna diminui e com isso a corrente aumenta, o que provoca ainda mais elevação da temperatura.

Durante instalação e transporte, a bateria OPzS apresenta maiores dificuldades, uma vez que deve ser instalada e transportada na posição vertical para evitar o derramamento do eletrólito. Já a bateria OPzV pode ser instalada em qualquer posição, uma vez que seu eletrólito é gelificado.

O custo das baterias OPzV é cerca de 30% superior ao custo das baterias OPzS. Portanto a adoção da bateria OPzV, por apresentar menor vida útil em altas temperaturas e custo de aquisição mais elevado, implicaria maiores custos de instalação e reposição durante a vida útil do sistema. Um outro ponto desfavorável ao uso de baterias do tipo OPzV é que atualmente não há muitos fabricantes no mercado brasileiro.

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 mais³. Isto apresenta vantagem para as distribuidoras uma vez que ainda precisam se estruturar para a realização da manutenção destes sistemas, principalmente em se tratando do caso de centenas a milhares deles.

Inversores

Segundo informações de alguns projetos instalados na Amazônia com sistemas fotovoltaicos, como, por exemplo, o Projeto de Xapuri e o Projeto Ribeirinhas, o inversor é o equipamento com maior índice de falha no sistema.

No sistema de atendimento através do SIGFI30 em vigor todo o fornecimento é dependente do inversor. Já em um sistema misto SIGFI13 Robusto, como proposto neste artigo, no qual a geladeira seria alimentada em CC, se o inversor apresentar defeito, haverá continuidade do serviço de refrigeração. Da mesma forma, poderá haver continuidade do serviço de iluminação, caso esta também fosse alimentada em CC. Como no sistema a geladeira é ligada diretamente à saída de carga do controlador, em corrente contínua, o sistema se torna mais eficiente, pois diminui as perdas no inversor, que são cerca de 15 a 20% da potência de entrada.

Ainda, no caso do SIGFI30, é previsto que todas as cargas sejam ligadas em tensão alternada, assim o inversor tem que atender a corrente de partida do compressor de uma geladeira, juntamente com as outras cargas ligadas. Isto faz com que os inversores precisem apresentar uma alta potência de surto e ser mais robustos que àqueles 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 a que não há nenhum certificado neste sentido. Sugere-se ainda que esse teste seja item obrigatório para aquisição dos inversores.

É necessário, ainda, para qualquer tipo de inversor ou de equipamento eletrônico que vá trabalhar em uma região tropical, com altas temperaturas e umidade, uma proteção adicional contra umidade (em geral uma cobertura de resina) e uma ótima dissipação de calor e ventilação apropriada no local de trabalho. É recomendável ainda que a refrigeração do inversor seja por elemento passivo, ou seja, não tenha ventilador (elemento ativo) pois, por ser um equipamento girante, é uma fonte provável de falha no inversor.

Refrigeradores

Dados do Sistema Impar (Eletrobras CEPEL, 2006), obtidos em pesquisa de campo realizada em 2004, com entrevista em 200 domicílios rurais nos municípios do Acre, destacados na Fig. 10, indicam que 79% das famílias que receberam energia elétrica, há no máximo 2 anos, possuíam refrigerador. Em todos os casos, o atendimento se deu por rede de distribuição convencional.

Outros estados da região Norte também foram pesquisados, onde os índices de posse de geladeiras por família após 2 anos de energia elétrica foram: 75,3% em Rondônia, 78,8% em Tocantins e 66,4% no Pará (Eletrobras CEPEL, 2006). Amazonas, Amapá, Roraima não participaram da pesquisa. Assim podemos considerar que na região Norte, pelo menos, 65% das famílias atendidas por rede pelo atual Programa de Eletrificação Rural deve ter adquirido geladeira.

No Projeto Piloto de Xapuri, foi verificado no Seringal de Albrácea que havia TV, receptor e rádio em 19% dos domicílios, enquanto em Dois Irmãos 73% tinha TV e receptor e 33% tinha aparelho de som; já em Iracema, 67% e 37%, respectivamente. Em Dois Irmãos e Iracema notou-se ainda significativa presença de liquidificador, DVD e carregador de celular. Grande parte dos consumidores respondeu que não comprou novos equipamentos por falta de recursos financeiros, principalmente em Albrácea⁴, mas a grande maioria gostaria de ter um refrigerador para poder beber água gelada, principalmente.

³ 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.

⁴ Em geral, há uma correlação direta de melhores condições de renda e facilidade de acesso ao local de moradia. Essa correlação é verificada nos 3 Seringais em questão: Albrácea não tem acesso por carro ou moto; em Dois Irmãos, o centro da comunidade pode ser acessado por grandes carros/caminhões e Iracema, o acesso é por barco.

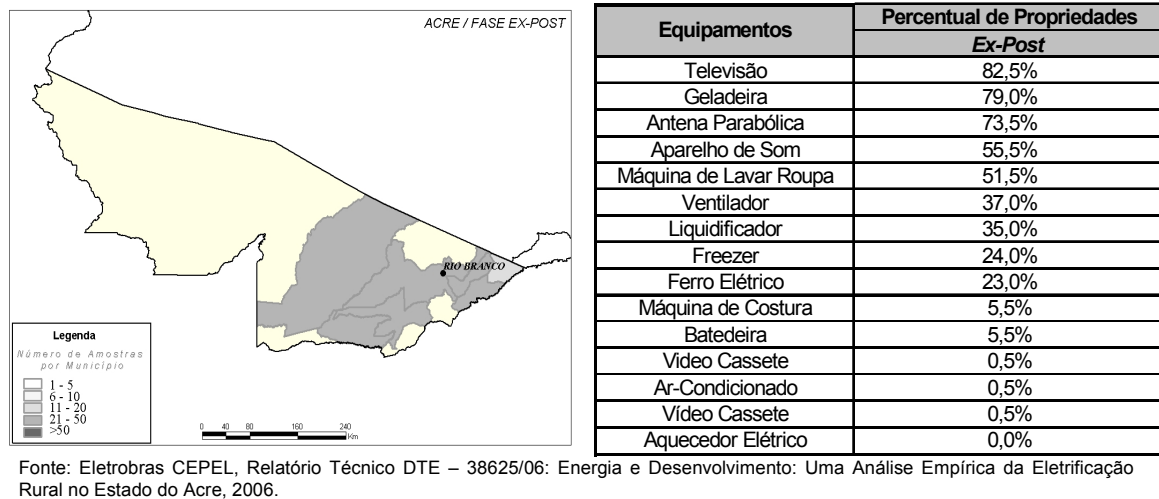


Figura 10 – Distribuição da amostra por município da pesquisa de campo em 2004 e tabela com índice de penetração de eletrodomésticos: dados após 2 anos de eletrificação pela Eletrobras Distribuição Acre

Como já mencionado, o Manual de Operacionalização do Programa de Eletrificação Rural estabelece que os sistemas de geração individual devem prover pelo menos os serviços de iluminação, comunicação e refrigeração.

No caso do atendimento pelo SIGFI30, que a princípio seria somente em corrente alternada, a geladeira mais eficiente encontrada na lista do Selo PROCEL (Eletrobras-PROCEL, 2009) é um refrigerador com consumo declarado de 15,7 kWh/mês. Esse consumo pode se verificar diferente em campo, dadas as condições reais de uso, como foi verificado com as geladeiras CC do Projeto Piloto de Xapuri, descrito anteriormente. Lá a geladeira de 120 l e consumo declarado (e verificado por ensaio na Eletrobras CEPEL) de 6 kWh/mês, apresentou consumo superior a duas vezes ao declarado devido às condições de uso no local.

A utilização de refrigerador 12 Vcc traz as seguintes implicações: este tipo de refrigerador normalmente é menor e mais caro do que os convencionais; sua manutenção e reposição são difíceis, principalmente na região Norte onde a oferta de serviços é menor que nas outras regiões do país, de forma que, caso o refrigerador apresente defeito, provavelmente seria substituído pelo morador por um refrigerador convencional; tudo isto será ainda agravado caso o refrigerador seja importado. Adiciona-se ainda que as geladeiras CC não são certificadas pelo INMETRO e a fabricação no Brasil é limitada.

O preço de mercado das geladeiras CC instaladas pelo Projeto Piloto de Xapuri pode variar de R\$ 2.000 a R\$ 3.000. Este valor inviabiliza a compra pela maioria dos usuários dos seringais estudados. Segundo pesquisa socioeconômica, realizada em 2006, a renda média mensal familiar dos moradores dos três seringais 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 de Eletrificação Rural 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 SIGFI30 e, portanto, ocasionaria um aumento do valor agregado do sistema com diminuição do custo final para o Programa. 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.

Lâmpadas

Foram levantadas algumas informações acerca das vantagens e desvantagens da iluminação em corrente contínua e alternada. 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 Programa de Eletrificação Rural; b) maior eficiência do sistema, pois evita-se a perda de transformação de energia no inversor; e c) continuidade do serviço de iluminação em caso de falha do inversor.

Um ponto desfavorável é que as lâmpadas CC atualmente não possuem etiqueta do INMETRO, que cobre apenas lâmpadas e refrigeradores alimentados em CA. Assim, não há a referência de um órgão oficial isento, acerca dos dados de catálogo dos fabricantes das lâmpadas, para comprovar os dados fornecidos. Seria recomendável que, para aquisição de grandes quantidades, fossem exigidos relatórios de ensaios, de laboratórios designados pelo INMETRO, para atestar a qualidade e durabilidade das lâmpadas fluorescentes compactas CC (e também dos refrigeradores). O teste de

eficiência luminosa é fácil e rápido, porém o de durabilidade é demorado. Segundo informações da Eletrobras CEPEL, a experiência indica que lâmpadas 12 Vcc usadas no Brasil apresentam desempenho inferior às convencionais em relação à durabilidade e eficiência luminosa.

O Manual de Operacionalização do Programa (MME, 2009) indica que em sistema SFD deve ser utilizada lâmpada eficiente fluorescente compacta. Desta forma, a opção pela lâmpada CC traria uma grande desvantagem em relação à lâmpada CA: o custo. 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 pudessem ser encontradas no mercado local lâmpadas fluorescentes para utilização nestas luminárias de boa qualidade e custo inferior aos verificados para as lâmpadas CC compactas.

Em pesquisas na internet acerca de lâmpadas fluorescentes tubulares, verificou-se que as menores lâmpadas tubulares comerciais encontradas são de 11, 13 e 14 W. Sendo que a de 14 W poderia ser instalada numa luminária de tamanho padrão, mais facilmente disponível no mercado. Entretanto, através de pesquisa de preços (outubro de 2009), verificou-se que o conjunto lâmpada fluorescente tubular e reator é mais caro que a lâmpada fluorescente compacta em CA. Uma lâmpada fluorescente tubular de 14 W custa entre R\$ 15 e 20, e o reator para a mesma, em torno de R\$ 15.

6. CONCLUSÕES

Para a universalização dos serviços de energia elétrica, com eletrificação rural de regiões remotas e de difícil acesso, os sistemas fotovoltaicos devem ser considerados. Para isso não só os custos de investimento, mas também os custos de O&M e de reposição de equipamentos devem ser avaliados. Sob este aspecto, projetos de eletrificação rural devem apresentar equipamentos que tenham ótimos desempenho, qualidade e vida útil.

O uso de sistemas individuais é importante na universalização do atendimento de energia elétrica, principalmente em se tratando de comunidades com alta dispersão da população. O porte do sistema fotovoltaico pode ser tal que a disponibilidade de energia pode ser superior a 80 kWh/mês de energia, como indica a própria Resolução Normativa ANEEL 83/2004, entretanto, devido ao valor de investimento dos sistemas e por, geralmente, serem atendidas comunidades onde a demanda de energia é baixa, as concessionárias acabam por optar em utilizar os menores sistemas autorizados pela ANEEL, e por isso este artigo trata dos sistemas SIGFI13 e SIGFI30.

Os sistemas SIGFI13 e SIGFI30 apresentam uma disponibilidade energética bastante limitada se comparada com a disponibilidade energética dos clientes rurais atendidos por rede convencional. Por isso, o sistema fotovoltaico individual deve ser considerado como opção de atendimento somente após uma análise criteriosa de viabilidade técnica, econômica e ambiental, comparando-a com as opções convencionais de atendimento, cujo conhecimento já é consolidado pelas concessionárias de energia.

Para que o consumidor não sinta insatisfação com o serviço, é imprescindível a orientação do usuário sobre o funcionamento e limitações do sistema fotovoltaico, inclusive com a explanação da justificativa dele ter sido atendido por tal forma, para que este utilize a energia disponibilizada de maneira eficiente e racional.

O sistema misto SIGFI13 Robusto, apresentado neste trabalho com a inclusão de uma geladeira eficiente CC de pequeno porte (volume de um frigobar), atenderia as exigências do Manual de Operacionalização do Programa de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, onde o sistema de energia elétrica deve possibilitar os serviços de refrigeração, iluminação e comunicação. Segundo cotações efetuadas pelos autores, o conjunto SIGFI13 Robusto + geladeira CC apresentaria um custo de instalação de 73% em relação ao SIGFI30. Como o refrigerador CC utilizado no Projeto de Xapuri pode apresentar um preço 4 vezes maior ao da geladeira CA mais eficiente do mercado (possível para o SIGFI30), o SIGFI13 Robusto só se mostra viável se for instalado em conjunto com a geladeira pois, em geral, os usuários não teriam condições financeiras de adquiri-la. Apesar dos riscos descritos relacionados à geladeira CC, os autores acreditam, com base na experiência do Projeto de Xapuri, que a inclusão da geladeira CC no kit de atendimento reduz o risco de insucesso do Programa com relação ao uso de sistemas fotovoltaicos. Isto porque evita que o usuário compre uma geladeira ineficiente e inadequada, que não funcione no sistema, resultando na insatisfação do consumidor e prejuízo da imagem da concessionária e do Programa. Além disso, há o aumento da confiabilidade do sistema, pois em caso de falha do inversor, o consumidor continua com energia elétrica para atender ao refrigerador.

Ressalta-se, porém, que o menor sistema que atende tanto às exigências do atual Programa de Eletrificação Rural quanto a Resolução ANEEL 83/2004, é o SIGFI30. Neste caso é possível a conexão de uma geladeira eficiente em CA. Entretanto a Eletrobras ainda não tem experiência do desempenho destes sistemas, principalmente com o uso de geladeira. Aponta-se para a necessidade do inversor ser projetado com uma alta potência de surto para suprir a corrente de partida do compressor do refrigerador mais as outras cargas típicas conectadas.

Considerando a universalização do atendimento de energia elétrica e que as concessionárias lancem mão da opção de atendimento por sistemas fotovoltaicos, elas precisarão se planejar sobre a gestão dos mesmos e, dependendo do número de sistemas, realizar adequação na sua estrutura 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, são elementos fundamentais para a minimização de riscos. Recomenda-se, fortemente, que as concessionárias efetuem, no mínimo, a manutenção preventiva anual dos sistemas, em especial das baterias, com cumprimento dos requisitos para manutenção da garantia, principalmente a reposição de água destilada no eletrólito, no caso de sistemas com baterias tipo OPzS.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio da Eletrobras Distribuição Acre, especialmente ao Engenheiro Dennys Senna e ao Técnico Arthur Pereira Jr.. Agradecem ainda 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 a todos os técnicos de indústrias e de fornecedores de equipamentos para sistemas fotovoltaicos, tais como 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.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, Resolução Normativa nº 083 de 20 de setembro de 2004, disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004083.pdf>.
- ANEEL, Boletim Energia, nº 410, ano 8, abril de 2010, disponível em <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493&idPerfil=2#grafico>.
- 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.
- Eletrobras CEPEL, 2006. Sistema IMPAR: banco de dados das pesquisas de campo sobre eletrificação rural realizadas pela Fundação Padre Leonel Franco em 27 concessionárias de energia entre 2000 e 2004.
- 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-PROCEL, Selo PROCEL, 2009. Refrigerador de uma porta, Rev.01-09, de 25/03/2009, disponível em <http://www.eletrobras.com/elb/PROCEL/main.asp?Team={2DEB4057-D085-49A8-A66E-5D946249DC56}&View=>
- MME, 2009. Manual de Operacionalização do Programa de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – versão 6.0, disponível em: http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Port_85_ANEXO%20DO%20MANUAL%20LPT.pdf
- MME, 2009. Manual de Projetos Especiais – Programa de universalização de energia elétrica, disponível em <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Manual%20de%20Projetos%20Especiais.pdf>
- 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?; Research and Development 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.

COMPARISON BETWEEN TWO TYPES OF SOLAR HOME SYSTEMS FOR RURAL ELECTRIFICATION

Abstract. *This paper presents some results of Xapuri Pilot Project in Acre, Brazil, where were installed 103 solar home systems (SHS), type SIGFI13. Additionally this paper presents comparison between two types of individual photovoltaic systems able to accomplish requirements of illumination, communication and refrigeration established by Brazilian Ministry of Mines and Energy for the rural electrification program. Xapuri Project results have shown that using a system that supplies energy through direct and alternate current, it would be a properer choice than a pure alternate current (AC) system due to economic and energetic efficiency reasons. However, the current Brazilian regulation establishes that electric energy supply must be made exclusively in AC. For this reason, SHS type SIGFI30 would be the smallest system able to accomplish both rural electrification requirements and Normative Resolution 083/2004 established by Brazilian Electricity Regulatory Agency (ANEEL). In this paper, other critical points related to SHS in remote areas, that should be observed by utilities, are discussed.*

Keywords: Solar Energy, Solar Home Systems, Rural Electrification