

# **A EXPERIÊNCIA OBTIDA COM OS PROJETOS DE GERAÇÃO COM FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NA REGIÃO NORTE DO BRASIL: DO PRODEEM AOS PROJETOS ESPECIAIS DAS CONCESSIONÁRIAS**

**Silvio Bispo do Vale** – bispo@ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

**Luis Carlos Macedo Blasques** – blasques@ifpa.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Coordenação de Eletrotécnica

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

**Eduardo Luis de Paula Borges** – eduardo\_borges@eletrobras.gov.br

**Felipe Nascimento Maia** – felipe.maia@eletrobras.com

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobras

**Resumo.** *Este trabalho apresenta as experiências obtidas com os diversos projetos com fontes renováveis de energia (FRE) implantados na Região Norte do Brasil, desde as primeiras experiências com o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios – PRODEEM, passando pelos projetos implantados pelas universidades e grupos de pesquisa, até os projetos especiais das concessionárias de energia, com destaque para a Rede Celpa, Eletrobras Distribuição Acre e Eletrobras Amazonas Energia. O trabalho aborda os diversos aspectos relacionados com questões técnicas e de gestão dos sistemas, em configurações individuais e atendendo minirredes, com diferentes tipos de fontes primárias de geração de energia (solar fotovoltaica, eólica, biomassa e diesel), quer seja com uma única fonte ou em configuração híbrida. Estes tipos de sistemas possuem especificidades que necessitam de uma abordagem detalhada, e os avanços obtidos durante o tempo decorrido entre os primeiros projetos implantados e os atuais podem nortear as futuras instalações e garantir a replicabilidade destes tipos de sistemas. Desta forma, os autores concentram as análises apresentadas neste trabalho nas características de cada sistema implantado em cada projeto, nos seus pontos positivos e negativos, e propõem uma análise centrada na gestão destes sistemas. As conclusões preliminares indicam fortes avanços no setor com o passar dos anos; porém, concentrados muito mais na área técnica, fazendo com que a gestão ainda seja considerada um ponto fraco dos sistemas.*

**Palavras-chave:** *Fontes Renováveis de Energia (FRE), Sistemas Isolados, Gestão de Sistemas com FRE.*

## **1. INTRODUÇÃO**

As primeiras experiências na tentativa de eletrificar todas as áreas remotas do Brasil começaram com a iniciativa do Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM), que foi instituído no ano de 1994, sob coordenação do Ministério de Minas e Energia (MME). O programa teve como objetivo a promoção do acesso à energia elétrica de comunidades rurais isoladas. Em todo o Brasil e em todas as suas fases, que compreenderam a instalação de sistemas comunitários de eletrificação, bombeamento de água e iluminação pública, o PRODEEM contemplou a aquisição/instalação de cerca de 9.000 sistemas, resultando em potência total superior a 5 MWp. Apenas na Região Norte foram instalados 1.471 sistemas (ANEEL, 2005).

Os projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) instalados pelos grupos de pesquisas das diversas instituições da Região Norte do Brasil iniciaram na década de 90 do século passado, com os primeiros editais lançados pelo governo federal com o intuito de promover a eletrificação e o aprendizado com as fontes renováveis de energia. Dentre os principais incentivos na geração de energia utilizando as fontes renováveis, destacam-se o Programa do Trópico Úmido (PTU), o Fundo Amazônia, o Fundo Setorial de Energia (CT-Energ) e o Fundo Setorial do Petróleo e Gás Natural (CT-Petro). Além desses incentivos à disseminação das energias renováveis, cita-se também os órgãos de fomento à pesquisa como a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que ainda hoje lançam editais voltados a aplicações com fontes renováveis, porém, sem o enfoque do passado, que priorizava predominantemente as instalações de sistemas com FRE.

Em relação aos projetos especiais estabelecidos no âmbito do Programa Luz Para Todos e instalados pelas concessionárias de energia da Região Norte do Brasil, ainda são poucos os sistemas com fontes renováveis. Porém, deve-se notar que há forte tendência da disseminação desses sistemas, uma vez que a legislação em vigor indica a obrigatoriedade do acesso à energia por todos os cidadãos brasileiros. Dentre os sistemas instalados e em operação destacam-se os projetos de Santo Antônio e Araras, da Rede Energia-Celpa, no Estado do Pará, 12 Mini-usinas, da Eletrobras Amazonas Energia, no Estado do Amazonas, e Xapuri, da Eletrobras Distribuição Acre, no Estado do Acre.

## 2. SISTEMAS INSTALADOS NO ÂMBITO DO PRODEEM

O PRODEEM foi instituído em 1994, sob a coordenação do MME, com o objetivo de promover o acesso à energia elétrica de comunidades isoladas em todo o Brasil. Como já citado, cerca de 9.000 sistemas foram instalados, resultando em potência total superior a 5 MWp. Apenas na Região Norte foram instalados 1.471 sistemas (ANEEL, 2005).

Os equipamentos instalados no âmbito do PRODEEM foram adquiridos através de seis licitações internacionais, o que dividiu o programa em 6 fases, denominadas de fases I, II, III, IV e V, e uma especial denominada de fase de bombeamento, onde foram adquiridos apenas sistemas para bombeamento de água, com licitação ocorrendo logo após a da fase III (Galdino e Lima, 2002). As características técnicas mais importantes dos sistemas para eletrificação previstos em cada uma das 5 fases (exceção à fase especial) são descritas na Tab. 1.

Tabela 1. Características técnicas dos sistemas fotovoltaicos instalados por fase do PRODEEM.

Fase	Descrição
I	Sistemas em corrente contínua de 12 V, dimensionados individualmente de acordo com critérios de carga instalada, consumo diário, dias de autonomia e radiação solar disponível. Foram fixados 2 dias de autonomia para aplicações em geral, com exceção a postos de saúde, com 3 dias. Em casos onde era indispensável a utilização de cargas em corrente alternada, pequenos inversores de 250 W eram disponibilizados.
II	Configurações semelhantes às da fase I, com os seguintes aperfeiçoamentos: foram realizados testes de aceitação dos equipamentos dos sistemas; os projetos consideraram valores únicos de radiação solar por estado; três valores de tensão foram adotados: 12, 24 e 48 V <sub>CC</sub> , dependendo da carga instalada por sistema; apenas baterias livres de manutenção foram aceitas; e, a que aqui é considerada a principal alteração, os sistemas passaram a entregar energia em corrente alternada – 5 diferentes capacidades de inversor foram previstas por porte do sistema.
III	Foram padronizados 12 diferentes sistemas fotovoltaicos ( <i>kits</i> ), escolhidos em função de análises do consumo diário e da carga instalada de cada ponto de consumo. Foi utilizado um único valor médio de radiação para todo o país: 4,3 kWh/m <sup>2</sup> .dia.
IV	Configurações basicamente idênticas às da fase III, com apenas duas alterações: o número de <i>kits</i> fotovoltaicos disponíveis foi reduzido para 10, e o de inversores para 4.
V	Apenas um <i>kit</i> foi adquirido nesta fase, o de mais ampla utilização nas 4 fases anteriores. O <i>kit</i> era assim composto: seis módulos FV de 120 W <sub>p</sub> , oito baterias de 150 Ah / 12 V, um controlador de carga de 30 A, e um inversor de tensão de 900 W.

O PRODEEM, ao longo de suas seis fases e para todas as finalidades de sistemas, empregou aproximadamente US\$ 37,25 milhões nos quase 9.000 sistemas instalados. Os sistemas instalados na Região Norte contaram com investimento total da ordem de US\$ 6 milhões (ANEEL, 2005). Dentre os estados com maiores investimentos recebidos pelo PRODEEM na região, o estado do Pará aponta como primeiro, sendo seguido por Rondônia, Acre e Amazonas, conforme dados da Tab. 2. Ainda sobre os aspectos financeiros do PRODEEM, pode-se citar os custos dos sistemas por capacidades instaladas, em US\$/Wp, abrangendo todas as suas fases, como apresentado na Tab. 3.

Tabela 2. Aspectos financeiros do PRODEEM, em instalações na Região Norte do Brasil (ANEEL, 2005).

UF	Atendimento até 2001 (Sistemas)	US\$ 1 mil	Atendimento em 2002 (Sistemas)	US\$ 1 mil	Atendimento total até 2002 (Sistemas)	US\$ 1 mil
AC	156	577,20	96	450,66	252	1.027,86
AM	81	299,70	125	586,79	206	886,49
AP	99	366,30	8	37,55	107	403,85
PA	211	780,70	224	1.051,53	435	1.832,23
RO	238	880,60	35	164,30	273	1.044,90
RR	6	22,20	23	107,97	29	130,17
TO	127	469,90	42	197,16	169	667,06
<b>TOTAL</b>	<b>918</b>	<b>3.396,60</b>	<b>553</b>	<b>2.595,97</b>	<b>1.471</b>	<b>5.992,57</b>

O PRODEEM é o maior programa brasileiro de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos. As instalações do programa, caso todos os sistemas adquiridos estivessem hoje ainda em operação, representariam cerca de 25% do total de sistemas fotovoltaicos instalados no país, considerando também os conectados à rede. Seus resultados são importantíssimos, até hoje, pois foram e ainda são utilizados como fonte de aprendizado para as instalações atuais.

Sob o aspecto técnico, as experiências adquiridas no PRODEEM contribuíram, de certa forma, para a atual legislação sobre sistemas individuais de geração com fontes intermitentes (SIGFI), Resolução ANEEL N° 83/2004. A principal questão técnica ainda hoje discutida, é com relação à flexibilização da legislação de forma que ela permita

sistemas puramente c.c. ou mistos. Fica claro que os insucessos do programa, principalmente nas últimas fases, estão intimamente relacionados a problemas de gestão.

Tabela 3. Custos dos sistemas por capacidades instaladas, em US\$/W<sub>p</sub> (Silva, 2006).

Fase da licitação	Data da licitação	Custo (US\$/W <sub>p</sub> )
I	Junho, 1996	6,04
II	Março, 1997	5,88
III	Novembro, 1997	7,22
IV	Setembro, 1999	5,62
V	Dezembro, 2001	7,83

Sob o aspecto da gestão, alguns pontos negativos são identificados ao longo de todas as fases do PRODEEM, dentre os quais podem ser citados: o atendimento exclusivamente em corrente contínua representa alguns problemas, principalmente no que se refere à reposição dos aparelhos eletrodomésticos por parte dos usuários; a utilização de sistemas em 12 Vcc, independente da carga instalada, resulta na necessidade de cabos de maiores seções transversais, além da necessidade de se associar uma grande quantidade de controladores de carga em paralelo; a utilização de baterias importadas e que necessitam de reposição de água também gera um esforço maior para a manutenção dos sistemas, além do fato de ser mais difícil encontrá-las nos mercados locais quando da necessidade de substituição, muito embora este panorama já venha mudando ao longo do tempo; e os pequenos inversores disponibilizados para o acionamento de cargas específicas se mostraram inadequados, principalmente em função de suas capacidades de surto menores do que o necessário para a partida de determinadas cargas.

Apesar dos pontos apresentados acima serem, em sua maioria, ligados a aspectos técnicos, os mesmos influenciam bastante na gestão dos sistemas, principalmente por tornarem maiores os esforços para sua manutenção, operação e reposição de peças. A correção dos pontos acima citados levou a um dimensionamento técnico mais criterioso e, com isso, os aspectos de gestão também foram positivamente afetados nas fases posteriores. Vale ressaltar que alguns pontos negativos verificados nas primeiras fases foram corrigidos nas demais, o que deve ser tomado como exemplo para futuros desenvolvimentos.

### 3. SISTEMAS INSTALADOS NO ÂMBITO DE PROJETOS DE P&D

Na última década de 90, o governo federal destinou, através de fundos setoriais, editais e programas específicos, um grande aporte de recursos para o desenvolvimento de sistemas com fontes renováveis. Dentre as ações destacam-se o Programa do Trópico Úmido (PTU), CT-Energ, CT-Petro e Fundo Amazônia. Órgãos como CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) ainda hoje lançam editais voltados para fontes renováveis.

Os projetos desenvolvidos por instituições de todo o Brasil também apresentaram valiosa contribuição para o desenvolvimento atual, além de terem formado diversos profissionais para atuar na área, que até hoje ainda carece de mão de obra suficientemente capacitada. A Tab. 4 apresenta um breve descritivo dos sistemas instalados na Região Norte no âmbito de projetos de pesquisa e desenvolvimento (Blasques *et al.*, 2007; Macêdo *et al.*, 2010; Mocelin, 2007; Pinho *et al.*, 2008).

Os projetos de P&D destacam-se, em geral, por apresentarem características técnicas inovadoras, oferecimento de capacitação em alto nível aos usuários, aliadas a instalações bastante criteriosas e visando à melhor execução possível, resultado da experiência e conhecimento técnico de suas equipes executoras. Os custos destes sistemas variam bastante de acordo com o grau de inovação aplicado. A Tab. 5 apresenta custos de energia para alguns dos sistemas instalados no âmbito de projetos de P&D. Como as variáveis são inúmeras (taxas de desconto, horizonte de análise, custos percentuais de O&M, etc.), este texto não especifica os detalhes de cada análise econômica apresentada pelos sistemas da Tab. 5, por entender que os parâmetros considerados se assemelham e, por isso, não impõem grandes restrições à análise. Uma diferença importante trata da consideração, ou não, dos custos de equipamentos referentes à implantação do sistema. Dois dos sistemas da tabela consideram somente custos de O&M.

A gestão adotada para os sistemas implantados em projetos de P&D é relativamente semelhante em praticamente todos os casos. Houve uma evolução, a partir do sistema de São Tomé, com a adoção de sistemas pré-pagos de medição; porém, a gestão em si não difere consideravelmente desde os primeiros sistemas, onde predominava a cobrança de taxas fixas por residência. Sistemas individuais e sistemas atendendo minirredes apresentam diferenças consideráveis na gestão, uma vez que nos sistemas individuais cada morador/usuário tem o sistema como se de fato fosse seu. Tal consideração gera também alterações na forma de cobrança e na própria gestão que os usuários aplicam ao sistema.

Tabela 4. Descritivo dos sistemas instalados no âmbito de projetos de P&amp;D.

Localização	Ano de implantação	Configuração	Fonte de recurso/ financiamento
Vila de Campinas/AM (5° 30' 00" S e 60° 45' 00" W)	1996	Híbrido Fotovoltaico-diesel	DOE, CEAM
Vila de Joanes/PA (0° 52' 36" S e 48° 30' 36" W)	1997	Híbrido Fotovoltaico-eólico	DOE, CELPA
Vila de Praia Grande/PA (1° 22' 54" S e 48° 50' 10" W)	1998	Híbrido Eólico-diesel	MCT/CNPq/PTU
Comunidades de Caxiuanã, Pedreirinha e Laranjal/PA (1° 44' 15" S e 51° 27' 20" W)	1998	Fotovoltaico Sistemas individuais	MCT/CNPq/PTU
Vila de Mota/PA (0° 37' 26" S e 47° 25' 20" W)	1999	Eólico Sistema centralizado	MCT/CNPq/PTU
Vila de Araras/RO (10° 13' 00" S e 65° 21' 00" W)	2001	Híbrido Fotovoltaico-diesel	ANEEL, GUASCOR
Vila de São Tomé/PA (0° 44' 24" S e 47° 28' 59" W)	2003	Híbrido Fotovoltaico-eólico-diesel	PETROBRAS, CT-PETRO/FINEP
Comunidade São Francisco do Aiucá (2° 48' 3" S e 65° 08' 11" W)	2005	Fotovoltaico Sistemas individuais	MME/CT-Energ/CNPq
Estação Científica Ferreira Penna/PA (1° 42' 30" S e 51° 31' 45" W)	2006	Fotovoltaico Sistema centralizado	MPEG
Vila de Tamaruteua/PA (0° 34' 57" S e 47° 45' 28" W)	2007	Híbrido Fotovoltaico-eólico-diesel	MME/CT-Energ/CNPq
Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mimirauá/AM (Coordenadas não disponíveis)	2007	Fotovoltaico Sistema centralizado	IDSM
Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã/AM (2° 35' 00" S e 64° 40' 00" W)	2008	Fotovoltaico Sistema centralizado	IDSM
Vila de Sucuriçu/AP (1° 40' 39" N e 49° 56' 01" W)	2008	Híbrido Fotovoltaico-eólico-diesel	MME/CT-Energ/CNPq

Tabela 5. Custos de energia gerada de sistemas com FRE em projetos de P&D (Blasques *et al.*, 2007; Macêdo *et al.*, 2010; Mocelin, 2007; Pinho *et al.*, 2008).

Sistema	Custo (R\$/kWh)
Praia Grande	1,11
São Tomé	2,11
São Francisco do Aiucá <sup>1</sup>	1,02
Tamaruteua	1,91
Sucuriçu <sup>1</sup>	1,47
<b>Custo médio</b>	<b>1,52</b>

<sup>1</sup> Sistemas que consideram somente custos de O&M no cálculo.

Uma das conclusões mais marcantes que se pode tomar a partir da análise dos sistemas com FRE instalados no âmbito de projetos de P&D é que há diferenças significativas entre os aspectos técnicos e de gestão. A gestão, em geral, fica comprometida, em função do fato dos órgãos executores, as instituições de pesquisa, deixarem de intervir nas localidades após o término do prazo de execução dos projetos, seja por interesse próprio, seja pelo fim da verba destinada a eles.

Casos mais marcantes são os sistemas de Vila Campinas, Joanes e Araras. Houve insucesso, pois as falhas dos sistemas renováveis resultaram no retorno às condições iniciais das localidades: o atendimento quase que exclusivamente via gerador a diesel.

Em outros sistemas, casos de Praia Grande, Mota, São Tomé, Tamaruteua e Sucuriçu, as concessionárias figuram como parceiras oficiais dos projetos, porém nunca tiveram participação ativa. Em alguns as instituições de pesquisa tentaram passar oficialmente a responsabilidade pelo sistema para as concessionárias, sempre sem sucesso.

Todos os projetos de P&D aqui apresentados contribuem fortemente para o aprendizado na área de sistemas com FRE.

Grupos de pesquisa com forte atuação em fontes renováveis, como o GEDAE/UFPA (Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará), LABSOLAR/UFSC (Laboratório de

Energia Solar da Universidade de Santa Catarina) e LSF/IEE/USP (Laboratório de Energia Solar de Universidade de São Paulo), trabalham há vários anos no desenvolvimento de fontes renováveis e, além de possuírem vasto acervo técnico, na forma de trabalhos acadêmicos nos mais diversos níveis, ainda formam anualmente dezenas de profissionais capacitados nas áreas de projeto, instalação, operação, manutenção e gestão de sistemas com FRE.

#### 4. SISTEMAS INSTALADOS POR CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA

Por serem atualmente poucos os sistemas com FRE implantados pelas concessionárias da Região Norte, este tópico adotará configuração diferente dos dois anteriores, sendo descritos os quatro projetos em operação ou em final de implantação. Vale ressaltar que o Projeto Araras, em fase final de implantação, apresenta análise somente preliminar, baseada no projeto do sistema, e não em suas características operacionais reais.

##### 4.1 Projeto Santo Antônio

O Projeto Santo Antônio emprega dois tipos de fonte de geração de energia, a solar fotovoltaica e a biomassa. A vila de Santo Antônio está localizada no Município de Breves (Ilha do Marajó), Estado do Pará. Este projeto de P&D – “Implantação de Sistemas de Geração de Energia para Atendimento a Comunidades Isoladas da Região Norte” – foi executado por dois grupos de pesquisa da UFPA, o Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) e o Grupo de Energia, Biomassa & Meio Ambiente (EBMA) (Celpa, 2010).

De acordo com os dados levantados, as equipes envolvidas no projeto especificaram 6 SIGFI com disponibilidade energética mensal mínima de 13 kWh (SIGFI13), para uma margem do rio, e uma usina a vapor de 50 kW para a outra margem, utilizando biomassa vegetal processada no local.

Os 6 SIGFI13 projetados para eletrificação de parte da comunidade foram projetados com o objetivo de avaliar diferentes tecnologias e configurações, ou seja, são sistemas com diferentes equipamentos constituintes, porém, todos atendendo rigorosamente ao estabelecido pela Resolução ANEEL N° 83/2004.

Na outra margem do rio, entrou em operação em agosto de 2010 uma usina a biomassa composta por um gerador de vapor (caldeira), uma turbina a vapor e um gerador elétrico de 50 kW, trifásico, 380/220 V, além de demais sub-sistemas. A usina atende a indústria madeireira e todos os moradores da mesma margem do rio através de uma minirrede de distribuição em baixa tensão, de aproximadamente 600 m de extensão.

De acordo com o modelo de gestão proposto para os sistemas, um dos objetivos do projeto piloto, a cooperativa da comunidade deverá atuar como autoprodutora de energia, tendo solicitado registro da usina a vapor junto à ANEEL. Este modelo ainda está em fase de execução, com a Celpa fornecendo total apoio à comunidade. O objetivo é validar a sustentabilidade do modelo para replicá-lo em outras comunidades de mesmas características, resultando assim em custos associados menores do que aqueles onde a concessionária atua de forma permanente.

##### 4.2 Projeto 12 Miniusinas

O projeto 12 Miniusinas, sob responsabilidade da Eletrobras Amazonas Energia, foi concebido após a criação da Portaria N° 60/2008 (Matos, 2011). Em 2009 foi publicada a Resolução N° 2.150/2009, autorizando a concessionária a implantar, em caráter piloto, os projetos, com a adoção de sistemas pré-pagos de medição. A Tab. 6 apresenta a configuração básica dos sistemas de cada uma das comunidades, divididas por município.

Tabela 6. Configuração básica dos sistemas instalados (Arruda Neto, 2011).

Município	Comunidade	UCs	Capacidade do sistema (kW)	Nº Blocos Geradores	Capac. Banco (kWh)	Energia / UC (kWh/mês)	Extensão minirrede (m)
Autazes	São Sebastião do Rio Preto	13	10,8	4	147,84	53,99	250
Barcelos	Terra Nova	24	16,2	6	221,76	45,85	735
Beruri	Nossa Senhora do Carmo	13	10,8	4	126,72	53,99	267
Eirunepé	Mourão	20	13,5	5	184,80	45,06	1.196
	Santo Antônio	15	10,8	4	126,72	46,79	720
Maués	Nossa Senhora de Nazaré	15	10,8	4	147,84	46,79	631
	Santa Luzia	22	16,2	6	190,08	50,02	320
	Santa Maria	23	16,2	6	221,76	47,84	272
	São José	17	13,5	5	158,4	53,01	380
Novo Airão	Aracari	14	10,8	4	126,72	50,13	458
	Bom Jesus do Puduari	27	18,9	7	258,72	48,14	460
	Sobrado	19	13,5	5	184,80	47,43	240
<b>TOTAIS</b>		<b>222</b>	<b>162,0</b>	<b>60</b>	<b>2.096,16</b>	<b>-</b>	<b>5.929</b>

### 4.3 Projeto Xapurí

Os seringais Albrácea, Iracema e Dois Irmãos, localizados na Reserva Extrativista Chico Mendes, no município de Xapurí, estado do Acre, receberam em 2007 103 sistemas fotovoltaicos individuais para eletrificação de seus consumidores. O projeto foi desenvolvido no âmbito do Programa Luz para Todos (Eletrobras, 2008).

O principal diferencial técnico do projeto Xapurí é a presença de três diferentes configurações de sistemas FV: configuração c.a. (atendendo à Resolução ANEEL N° 83/2004, classe SIGFI13), mista (c.a.+c.c.) e c.c. (Lima, 2011).

As configurações dos sub-sistemas de geração e armazenamento são comuns a todos os sistemas, com 3 módulos FV de 85 Wp e 2 baterias de 12 V, 150 Ah (C20). A diferença está no fato de cada comunidade receber um sistema com diferente característica de carga atendida. Albrácea recebeu 37 sistemas, todos em corrente contínua (c.c.), Iracema recebeu 31 sistemas, todos em corrente alternada (c.a.), e Dois Irmãos recebeu 35 sistemas mistos (c.a.+c.c.). A Fig. 1 apresenta o diagrama unifilar dos sistemas mistos de Dois Irmãos, o mais geral dos diagramas, sendo as duas outras configurações resultantes desta.

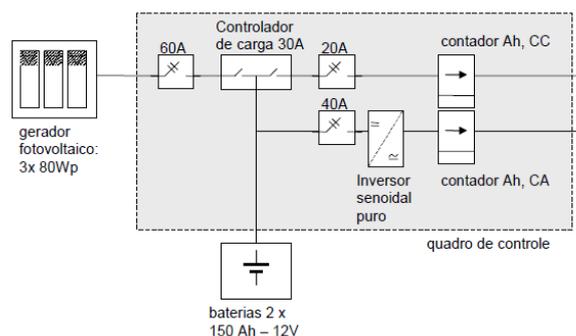


Figura 1- Diagrama unifilar dos sistemas de Dois Irmãos, em Xapurí (Eletrobras, 2008).

Após o primeiro ano de operação, o principal problema técnico verificado esteve relacionado à ocorrência de defeito em diversos inversores, diagnosticado pelo fabricante como defeito de fabricação no lote. O Seringal Iracema (sistemas c.a.), registrou 48 das 49 falhas devidas ao inversor. A segunda ocorrência mais comum foi de falha nos controladores de carga, com 17 registros de interrupções, a maioria também no Seringal Iracema (15). Ainda assim, os índices de continuidade (DIC) não violaram as metas estabelecidas pela Resolução ANEEL N° 83/2004.

Dois sistemas de cada seringal estão sendo monitorados continuamente através de sistemas automatizados de aquisição de dados (SAAD) e medidores de energia (em c.a. e c.c.). As variáveis monitoradas são radiação solar, temperatura ambiente e parâmetros elétricos (tensão e corrente) de todos os componentes do sistema. Os dados de monitoração demonstram a maior disponibilidade energética dos sistemas de Albrácea (sistemas c.c.), obtida em função dos sistemas não utilizarem inversores. O consumo médio de energia é muito baixo na maioria das residências: aproximadamente 60% dos consumidores dos 3 seringais utilizam menos que 7 kWh mensais de energia elétrica, e no Seringal Albrácea 50% das residências consomem um valor máximo de 2 kWh/mês.

### 4.4 Projeto Araras

A concessionária RedeEnergia-Celpe contou com recursos do Programa Luz Para Todos para, em cooperação com a Eletrobras e com suporte técnico da GTZ, implantar o Projeto Araras, que objetiva a eletrificação da Ilha de Araras, município de Curalinho, estado do Pará. A Celpe obteve junto à ANEEL Resolução Autorizativa N° 1.822/2009 para a implantação dos sistemas (Pinheiro, 2011).

No total são eletrificadas 78 unidades consumidoras (aproximadamente 300 pessoas) com sistemas com configurações distintas, sendo este um dos diferenciais técnicos do projeto. Por possuir 4 regiões com pequenos aglomerados populacionais, denominadas de Araras Pequena (AP), Araras Micro (AM), Araras Grande Sul (AGS) e Araras Grande Norte (AGN), foram previstos 4 tipos de sistemas de geração, com suas configurações sendo apresentadas na Tab. 7.

Tabela 7. Configurações dos sistemas da ilha de Araras (Lima, 2011; Pinheiro, 2011).

Região	UCs	Configuração do Sistema	Capacidade do sistema	Extensão da minirrede (m)	Capacidade Banco (kWh)
Araras Pequena	18	Fotovoltaico	11,5 kW <sub>p</sub>	1.090	57,6
Araras Micro	4	Fotovoltaico	2,5 kW <sub>p</sub>	330	24
Araras Grande Sul	15	Fotovoltaico	9,4 kW <sub>p</sub>	1.680	43
Araras Grande Norte	38	Fotovoltaico-eólico-diesel	15,2 kW <sub>p</sub> (FV) + 6 kW (Eólico) + 7,5 kVA (Diesel)	2.960	144

Com relação a aspectos de gestão, os sistemas são todos automatizados, objetivando mínimas intervenções operacionais. Haverá monitoramento remoto e o faturamento será através de medição pré-paga. Técnicos do Centro Regional de Serviços (CRS) da concessionária, lotados na sede de Currálinho, farão inspeções periódicas aos sistemas, efetuando manutenções básicas. Manutenções mais especializadas estão previstas para serem realizadas em Belém, com apoio da assistência técnica dos fabricantes dos equipamentos.

## 5. CONCLUSÕES

O presente artigo teve como objetivo a apresentação de projetos com FRE, com foco em seus aspectos técnicos, financeiros e de gestão, em seus sucessos e insucessos e em seus pontos positivos e negativos. A divisão em três grandes grupos, projetos vinculados ao PRODEEM, a programas de P&D e às concessionárias, pôde distribuir os sistemas implantados em linhas onde há semelhanças entre os projetos de cada grupo, mesmo por que há interação entre as partes.

A evolução observada é clara. Para cada caso de insucesso, partindo da fase I do PRODEEM ou dos primeiros projetos de P&D implantados, nota-se um avanço no projeto seguinte, visando minimizar os erros anteriores. Novos problemas surgem, novos desafios são enfrentados e soluções são propostas e avaliadas em campo. Entende-se que a base criada a partir dos sistemas instalados pelo PRODEEM e em projetos de P&D, após mais de uma década, está sendo fundamental para a realização dos projetos recentes, conduzidos pelas concessionárias. Isto ocorre devido ao aprendizado absorvido por atores que hoje detém grande experiência na área de projetos de FRE, casos do CEPTEL (PRODEEM) e dos grupos de pesquisa de maior atuação na área (P&D), principalmente na Região Norte do Brasil. Estas mesmas instituições hoje apoiam os projetos desenvolvidos pelas concessionárias, até o momento em que elas detenham domínio técnico e possuam pessoal devidamente qualificado para atuar de forma efetiva na área.

Dentre os problemas técnicos enfrentados, pode-se citar que muitas vezes eles estão relacionados à má qualidade de equipamentos e materiais empregados, ou a instalações incorretas. Sobre os equipamentos, atualmente já há muito mais critérios que limitam a entrada de equipamentos de baixa qualidade no mercado nacional, e a tendência é que os testes sejam cada vez mais rigorosos e os equipamentos de qualidade cada vez maior. O grupo de trabalho fotovoltaico (GT-FOT) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) vem atuando no sentido de consolidar os critérios para testes e ensaios de equipamentos e, inclusive, do sistema como um todo. Em relação à instalação, é fato que o Brasil ainda carece de pessoal capacitado para desenvolver projetos e realizar instalações e manutenções de sistemas com FRE. Em todos os níveis e em todos os setores, das concessionárias de energia ao mercado de prestação de serviços, muito ainda precisa ser feito para garantir pessoal devidamente capacitado para atuar na área. Neste ponto, a participação das instituições de ensino e pesquisa, que atuam no desenvolvimento de projetos desde os primeiros programas de P&D, é de fundamental importância (Bispo, 2011).

Sob aspectos financeiros, a redução de custos de equipamentos é notória, no Brasil e no Mundo. Porém, em nível nacional os custos ainda são altos, principalmente porque a escala ainda é reduzida. Ainda não se pode definir com exatidão a média dos custos reais da energia (R\$/kWh) entregue ao consumidor final em sistemas com FRE recentemente instalados. Os valores calculados em projetos de P&D não consideram custos fixos de pessoal, pois a operação e manutenção básicas em geral são realizadas pelos próprios usuários, o que leva a custos mais baixos, porém, a maiores possibilidades de insucesso. No modelo mais recente, com sistemas geridos com participação ativa das concessionárias, os custos tendem a serem ainda maiores. Espera-se que o aumento do número de sistemas instalados e uma melhor adequação da infraestrutura das concessionárias para atender tais sistemas resultem em redução de custos.

Dentre todos os aspectos discutidos em torno dos sistemas com FRE, os relacionados à gestão ainda são os que geram maiores controvérsias. Os sistemas instalados no âmbito do PRODEEM e em projetos de P&D demonstraram altos índices de insucesso no que diz respeito à gestão. A ausência de um responsável formal pelo sistema funciona bem somente no caso de comunidades com bons níveis de organização, com associação constituída e que tenham usuários que se comprometam com a operação e a manutenção do sistema. Sistemas individuais tendem a apresentar melhores resultados, mesmo quando não há um apoio melhor consolidado, pois os usuários se configuram como responsáveis diretos pelos seus próprios sistemas. No entanto, a participação ativa de uma equipe com experiência na gestão de sistemas de energia é fundamental para garantir a sua sustentabilidade.

Faz-se importante ressaltar os desafios das concessionárias da Região Norte para o atendimento do serviço de energia em sua área de concessão, principalmente se considerando as localidades remotas que estão distantes das redes de energia convencionais. Segundo o Censo 2010 do IBGE existem em torno de 250.000 domicílios não eletrificados na Região Norte. Considerando que, dentre estes, aproximadamente 150.000 serão atendidos com projetos com fontes renováveis, estima-se um valor em torno de dois bilhões de reais para a implantação desses sistemas. O Programa Luz Para Todos (LPT) utiliza-se de recursos da CDE para financiar os custos de implantação. Com a Lei nº 12.111, de 09 de dezembro de 2009, o Decreto nº 7.246, de 28 de julho de 2010, o Decreto nº 7.355, de 5 de novembro de 2010, a Portaria MME nº 600, de 30 de junho de 2010, e a Portaria MME nº 493, de 23 de agosto de 2011, que dispõem sobre os serviços de energia elétrica nos sistemas isolados, os custos de geração não cobertos pelos recursos do Programa LPT, inclusive eventual parcela dos investimentos, bem como aqueles relativos à operação, à manutenção e à reposição em Sistemas de geração descentralizada com ou sem redes associadas serão reembolsados pela Conta de Consumo de Combustíveis – CCC.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Eletrobras pela permissão na divulgação dos trabalhos realizados no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica Eletrobras e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL. 2005. Atlas de Energia Elétrica. 2ª Edição, Brasília.
- Arruda Neto, G. V. 2011. Projeto Especial Mini-usinas Fotovoltaicas com Minirredes. Informações fornecidas através de comunicação via correio eletrônico, enviadas em 20 de julho de 2011.
- Bispo, S. V. 2011. Relatório sobre informações de projetos existentes com FRE em áreas isoladas (englobando aspectos técnico, financeiro e de gestão, destacando vantagens, desvantagens, sucessos e insucessos percebidos) e sobre levantamentos existentes de potencial energético e de demanda, no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica Eletrobras e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA.
- Blasques, L. C. M., Vale, S. B., Pinho, J. T. 2007. Sistema Solar Fotovoltaico para Geração de Eletricidade na Estação Científica Ferreira Penna do Museu Paraense Emílio Goeldi, Caxiuana – Pará. I Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS, Fortaleza.
- Celpe – Centrais Elétricas do Pará S/A. 2010. Relatório Final do Projeto de P&D - Implantação de Sistemas de Geração de Energia para Atendimento a Comunidades Isoladas da Região Norte. Belém.
- Eletrobras. 2008. Ações para Disseminação de Fontes Renováveis de Energia – Relatório Final do Projeto Piloto de Xapuri. Eletrobras/Eletoacre/GTZ, Rio de Janeiro.
- Galdino, M. A. e Lima, J. H. G. 2002. PRODEEM - The Brazilian Programme for Rural Electrification Using Photovoltaics. Proceedings of RIO 02 - World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro.
- Lima, A. A. N. 2011. Experiência da Eletrobras com Sistemas de Atendimento para Eletrificação Rural, Utilizando Fontes Renováveis de Energia. Apresentação realizada no Workshop “Inovação para o Estabelecimento do Setor de Energia Solar Fotovoltaica no Brasil”, NIPE/UNICAMP, IEI, Campinas.
- Macêdo, W. N., Galhardo, M. A. B., Pinho, J. T., Modesto, J., Penha, J. A. e Oliveira, L. G. M. 2010. Reestruturação de um Sistema Fotovoltaico Autônomo em uma Base de Pesquisa de Unidade de Conservação Ambiental. III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém.
- Matos, A. A. 2011. Mini-usinas Fotovoltaicas com Minirredes de Distribuição. Apresentação realizada no seminário “Minirredes e Sistemas Híbridos com Energias Renováveis na Eletrificação Rural”, CYTED, INCT-EREEA, LSF/IEE/USP, São Paulo.
- Mocelin, A. R. 2007. Implantação e Gestão de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares: Resultados Operacionais de um Projeto Piloto de Aplicação da Resolução ANEEL Nº 83/2004. Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.
- Pinheiro, G. F. 1º Relatório de Acompanhamento Res. Aut. 1.822/09 – Projetos Especiais Celpe. Informações fornecidas através de comunicação via correio eletrônico, enviadas em 24 de agosto de 2011.
- Pinho, J. T., Barbosa, C. F. O., Pereira, E. J. S., Souza, H. M. S., Blasques, L. C. M., Galhardo, M. A. B. e Macêdo, W. N. 2008. Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia, 1ª edição, Ministério de Minas e Energia, Brasília.
- Silva, J. L. 2006. Estudo sobre as Políticas Públicas de Eletrificação Rural: A Ausência de Planejamento como Obstáculo a Sustentabilidade Social e Ambiental. Dissertação de Mestrado, Universidade Católica de Brasília.

## THE EXPERIENCE OBTAINED WITH RENEWABLE ENERGY POWER SYSTEMS PROJECTS ON THE BRAZILIAN NORTHERN REGION: FROM PRODEEM TO THE UTILITIES ESPECIAL PROJECTS

**Abstract.** *This work presents some experiences obtained with several projects with renewable energy sources (RES) installed on the Brazilian Northern Region, since the first experiences with the Program of Energetic Development of States and Municipalities (Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios – PRODEEM), passing through the projects developed by the universities and research groups, reaching the electrical utilities special projects, mainly the ones developed by Rede Celpe, Eletrobras Distribuição Acre and Eletrobras Amazonas Energia. This paper approaches several technical and management aspects of the systems, individual and supplying microgrids, with different primary generation sources (photovoltaic, wind, biomass and diesel), in configuration with only one source or hybrid ones. These kinds of systems have specificities that need a detailed approach, and the improvement obtained in the course of time from the first projects installed and the last ones can guide the future installations and guarantee the system's replicability. From this point of view, the authors focus the present analysis on the characteristics of the systems installed on each project, on their positive and negative aspects, and propose an analysis based on the system's management. The preliminary conclusions point to strong improvements achieved the last few years, but concentrated mainly on the technical aspects, and the management is still being considered the weak point of these systems.*

**Key words:** Renewable Energy Sources, Isolated Systems, Management of Renewable Energy Systems.