

EXPERIÊNCIAS ADQUIRIDAS COM O SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-EÓLICO-DIESEL DE SÃO TOMÉ

Claudioiro Fábio de Oliveira Barbosa – cfob@ufpa.br

João Tavares Pinho – jtpinho@ufpa.br

Edinaldo José da Silva Pereira – esjpereira@oi.com.br

Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas – GEDAE, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará

Resumo. Este trabalho aborda as principais experiências adquiridas durante a instalação, operação e desmobilização do Sistema Híbrido Fotovoltaico-Eólico-Diesel para a geração de eletricidade da vila de São Tomé, município de Maracanã, Estado do Pará. Para tanto, primeiramente são caracterizados a vila, o sistema híbrido e o potencial dos recursos energéticos. Em seguida são apresentados de forma sucinta informações sobre a montagem (técnicas e recomendações de instalação), a carga (carga instalada, demanda e qualidade de energia), os impactos (ambientais, socioeconômicos e outros), e a gestão e sustentabilidade do sistema. Por fim, são tratadas as questões inerentes à extensão de rede convencional e à desmobilização do sistema após a chegada da rede.

Palavras-chave: Sistemas Híbridos de Energia, Geração Isolada, Energias Renováveis, Extensão de Rede

1. INTRODUÇÃO

Na Região Amazônica, a eletricidade é privilégio de poucos, especialmente nas áreas mais remotas, com comunidades bastante dispersas (baixa densidade populacional), constituídas por algumas dezenas de edificações, que na grande maioria das vezes estão distantes entre si. Entretanto, grande parte dessas áreas dispõe de recursos renováveis, como o solar, o eólico, a biomassa, etc., que podem servir de fontes primárias em vários sistemas alternativos de eletrificação.

Por esta razão, foi feita a seleção da vila de São Tomé, comunidade não eletrificada e que apresenta bons índices de velocidade de vento e radiação solar, que justificaram a execução de um projeto de geração de eletricidade, tendo como fontes primárias, o sol e o vento, complementadas pela geração diesel-elétrica, fundamental para garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica. (Barbosa *et alii*, 2007)

O projeto teve seu início no ano de 2002, estendendo-se até meados de 2007, quando então a vila foi eletrificada pela extensão de rede do Programa Luz Para Todos.

Efetivamente, o sistema híbrido entrou em operação em 2003 e, por se tratar de um sistema piloto, enfrentou dificuldades técnicas e de gestão durante o seu período de funcionamento. Todavia, verificou-se que o mesmo cumpriu com a sua principal finalidade, que era a integração socioeconômica dos moradores da vila com os benefícios da eletricidade.

Nesse contexto, aprender com as experiências adquiridas antes e depois da implantação do sistema, sejam elas positivas ou negativas, é a motivação para o desenvolvimento deste trabalho, visando principalmente a melhoria e a replicabilidade dos sistemas híbridos na Região.

2. A VILA E O SISTEMA HÍBRIDO DE SÃO TOMÉ

2.1 Vila de São Tomé

A vila de São Tomé situa-se no município de Maracanã, às margens da baía de Maracanã, próximo ao oceano Atlântico, registrando as coordenadas geográficas de 0° 44' 24" S e 47° 28' 59" W (Fig. 1).

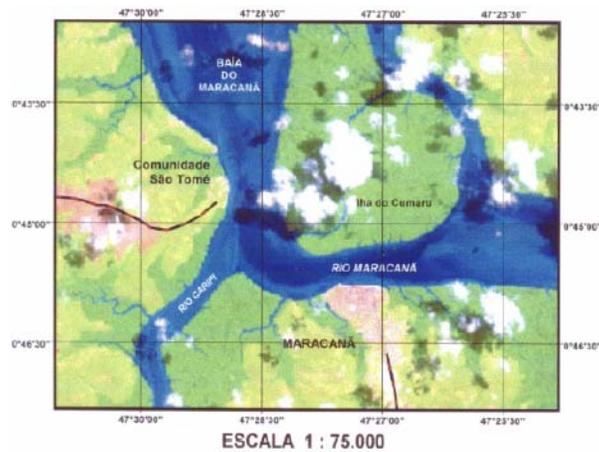


Figura 1- Mapa de localização da vila de São Tomé.

Seu ecossistema é do tipo praiano distribuído em terreno firme, ocupando uma área de aproximadamente 25 hectares. O acesso a São Tomé, a partir de Belém, pode ser feito por completo pela malha rodoviária, alternando rodovias federais e estaduais (cerca de 3,5 horas), ou pela malha rodoviária, até a sede municipal (cerca de 3 horas), e deste local por via fluvial, utilizando barcos de pequeno porte, que fazem o percurso em média de 20 minutos.

A população residente, segundo dados de 2006 (GEDAE, 2008), é de aproximadamente 231 habitantes, distribuídos em 44 famílias.

Cerca de 80 edificações constituem a vila, a maioria feita de barro, dispostas em uma configuração irregular, não existindo um sistema de endereços (casas numeradas, denominações de ruas, etc.).

A economia da vila baseia-se no extrativismo dos recursos naturais locais, destacando-se as atividades de pesca (principal fonte de renda), captura de caranguejo para consumo próprio e comercialização do excedente, e agrícola, somente de subsistência, onde se destaca o cultivo de mandioca para a produção de farinha. No setor comercial destacam-se alguns pequenos comércios que exploram como negócios a venda produtos de primeira necessidade (arroz, feijão, ovos, leite, pilhas, papel higiênico, etc.) e bebidas diversas.

2.2 Breve descrição do sistema híbrido

O projeto do sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diesel de São Tomé (Fig. 2) teve seu início no ano de 2002, financiado pela Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRÁS) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), através do fundo CT-PETRO.

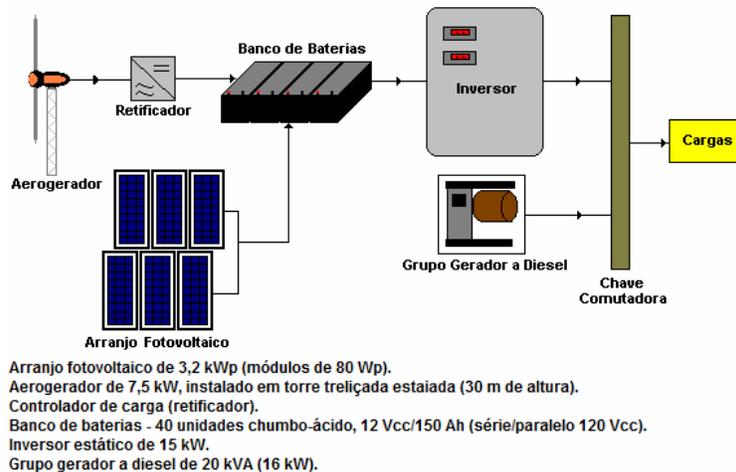


Figura 2- Diagrama de blocos do sistema híbrido.

O Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas - GEDAE/Universidade Federal do Pará – UFPA executou o projeto, com apoio da Agência Estadual de Regulação e Controle de Serviços Públicos - ARCON, Prefeitura Municipal de Maracanã e da concessionária de energia local (Grupo Rede/CELPA).

Em setembro de 2003 o sistema híbrido entrou em operação, suprindo as residências, escolas e prédios comerciais da vila.

3. LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS

Para o levantamento e caracterização dos recursos locais foram inicialmente realizadas visitas à vila, onde através de instrumentos de medição portáteis mediram-se de forma breve a intensidade do vento e da radiação solar. Entrevistas com os moradores a respeito dos recursos (vento, sol e disponibilidade de óleo diesel) também foram aplicadas durante essas visitas. Ademais, a experiência do projetista foi posta em ação, principalmente, levando-se em consideração a observação de indicadores naturais dos recursos renováveis.

Os dados levantados com a metodologia supracitada, como indicativos, apontaram um razoável potencial de cada recurso para o aproveitamento na geração de eletricidade. Todavia, ainda havia a necessidade de se ter um histórico de medições de dados do recurso para o projeto do sistema.

Normalmente, a forma de se contorna a falta de medições, o que é típico em locais isolados, é a utilização de medições de áreas próximas, o que foi feito para o projeto do sistema híbrido de São Tomé. Consideraram-se dados de radiação solar da cidade de Belém, e de vento referentes à comunidade de Tamaruteua (coordenadas geográficas 0° 34' 57" S e 47° 45' 28" W), vila próxima de São Tomé, além de possuir características semelhantes de terreno e vegetação.

No entanto, somente com a instalação de uma estação meteorológica (2 anemômetros, 1 piranômetro, 1 termômetro, 1 sensor de direção de vento, 1 unidade de aquisição de dados) no final do ano de 2002, foi possível obter informações mais consistentes e confiáveis sobre o recurso energético solar e o eólico (Barbosa, 2004).

Com relação ao óleo diesel, a sede municipal conta com um posto (ponto de venda) localizado próximo ao porto, o que facilita a aquisição do mesmo sendo rapidamente transportado via fluvial até São Tomé.

4. MONTAGEM E COMISSIONAMENTO DO SISTEMA

O transporte de todos os materiais (geradores, torres, cabos de aço, cabos elétricos, acessórios, etc.) que integram o sistema híbrido, da cidade de Belém à vila de São Tomé, deu-se em etapas e foi feito por via terrestre com auxílio de veículos automotores adequados as características de volume e peso dos equipamentos.

Na seleção do local para a montagem e instalação dos subsistemas de geração foram considerados: disponibilidade de área; condições mais favoráveis de vento; inexistência de obstáculos causadores de sombra; proximidade da maior concentração das unidades consumidoras.

Definido o local, partiu-se para as obras de construção civis: bases (blocos de concreto) para sustentação da torre/aerogerador e da casa de força, popularmente chamada de usina pelos moradores locais (Fig. 3). A mão-de-obra utilizada foi local sobre supervisão de um engenheiro civil e um mestre-de-obras (redução de custos).



a. Bases em construção (conjunto torre/aerogerdor).



b. Base e ponto de fixação do estais.



c. Casa de força em construção.



d. Casa de força pronta.

Figura 3- Construções civis.

A torre do aerogerador (torre metálica treliçada estaiada) foi montada na horizontal e depois içada (procedimento seguro e relativamente fácil e comparação com outras formas de montagem).

O estaiamento da torre foi feito em dois níveis (26,5 m e 14,5 m), com quatro estais cada, sendo utilizados cabos de 3/4" (nível mais alto) e de 5/16" (nível mais baixo). Cada cabo foi preso a um esticador nos pontos de fixação dos estais. Posteriormente, realizou-se o ensaio do içamento da torre, sem estar, no entanto, o aerogerador fixado à mesma. Para isso, utilizou-se um cabo de aço preso à extremidade superior da alavanca de carga da torre (Fig. 4a), que antes de ser fixado ao guincho manual (tífor), o mesmo ainda passava por um sistema de roldanas para diminuir os esforços.



a. Içamento da torre sem aerogerador.



b. Fixação do aerogerador na torre.

Figura 4- Técnicas do conjunto torre/aerogerador.

Após o ensaio de içamento, o aerogerador foi preso por parafusos no topo da torre (Fig. 4b). Em seguida, fixou-se o leme, etapa esta mais difícil devido ao seu peso e à posição de encaixe, e as três pás de 3,5 m cada, por meio de parafusos. Instalou-se também o revestimento frontal ou *spinner*, que tem a finalidade de otimizar o desempenho aerodinâmico do aerogerador. Ainda na posição horizontal, finalizou-se a instalação dos cabos elétricos.

Terminado todo o processo de instalação do aerogerador, deu-se o içamento do conjunto torre/aerogerador, realizando os ajustes finais por meio dos esticadores.

Com relação à casa de força (Fig. 3c e d), as suas dimensões eram suficientes para acondicionar os demais equipamentos do sistema híbrido, a saber:

- Inversor estático;
- Controlador de carga (retificador);
- Banco de baterias;
- Grupo gerador a diesel (compartimento reservado);
- Chaves e disjuntores de proteção.

Espaço à circulação do operador em volta dos equipamentos para executar os procedimentos típicos de operação e manutenção fez-se também presente.

Outros pontos importantes a ser observados eram os bons níveis de iluminação e ventilação natural, obtida, por exemplo, através de aberturas na parte superior das paredes, conhecidas como combongós.

Os módulos fotovoltaicos foram dispostos sobre a laje da casa de força (Fig. 3c), fixados por quatro estruturas de ferro com pintura anticorrosiva (10 módulos por estrutura), suficientemente distante das ocorrências de sombreamento provocadas pela vegetação ou prédios durante o dia, e próximo do banco de baterias, o que, conseqüentemente, reduzia as perdas devidas à fiação.

Para acomodar as 40 baterias, que formavam o banco de baterias de tensão nominal 120 V_{CC} foi idealizado e projetado um armário resistente em armação de ferro de quatro divisões e assoalho de madeira.

O grupo gerador diesel foi instalado no compartimento reservado, denominado não renovável da casa de força, sobre uma estrutura de ferro provida de um sistema de amortecimento. Essa área foi especificamente construída para abrigar o grupo, pois objetiva amenizar o nível de ruído produzido e a influência da liberação de poluentes pelo escapamento do motor, que poderia comprometer o funcionamento dos demais equipamentos.

Com relação à minirrede de distribuição (trifásica 127/220 V_{CA}), a mesma era composta por cabos do tipo multiplex (35 mm²), tensionados ao longo de 45 postes de concreto de 7 m de altura cada, seguindo um padrão irregular no espaçamento entre si, devido à configuração da vila e ao fato de se buscar a melhor forma possível de atendimento às unidades consumidoras.

Os postes foram fixados ao solo por meio de buracos de cerca de 1,30 m de profundidade e seção transversal de 0,36 m², obedecendo aos padrões técnicos estabelecidos pela concessionária de energia. Os moradores locais e um caminhão munk auxiliaram na instalação dos postes nos buracos, os quais foram revestidos de pedras e uma camada de cimento com areia após os ajustes.

Pelo fato da maioria das edificações não possuírem nenhum tipo de instalação elétrica, realizou-se, sem ônus para a população, a instalação de um único circuito elétrico monofásico protegido por um disjuntor de 20 A (carga instalada baixa), sendo composto por dois pontos de luz (lâmpadas PL de 15 W), dois interruptores e uma tomada, distribuídos estrategicamente pela unidade consumidora. É importante comentar, que havia unidades consumidoras providas de

lâmpadas fluorescentes de 20 W e um número maior de tomadas e interruptores, os quais foram adquiridos pelos próprios consumidores.

A Fig 5 apresenta os equipamentos anteriormente mencionados.



a. Aerogerador e módulos fotovoltaicos.



b. Inversor de tensão estático.



c. Banco de baterias (armário de baterias).



d. Grupo gerador a diesel sobre seu suporte.



e. Instalação dos postes com auxílio do caminhão munk.



f. Instalação da fiação da minirrede de distribuição.

Figura 5- Equipamentos do sistema híbrido de São Tomé.

5. CARGA ATENDIDA, DEMANDA E QUALIDADE DE ENERGIA

5.1 Tipo de carga

Por supri uma vila, já era de se esperar que o tipo de carga residencial (televisores, refrigeradores, aparelhos de som, ferro de passar, lâmpadas incandescentes e fluorescentes, entre outros) fosse predominante na demanda de eletricidade, representando quase o total da carga instalada da vila de São Tomé.

Dentre as cargas tipicamente residenciais, os eletrodomésticos correspondem ao maior percentual de carga instalada, índice superior a 76 % (Fig. 6a).

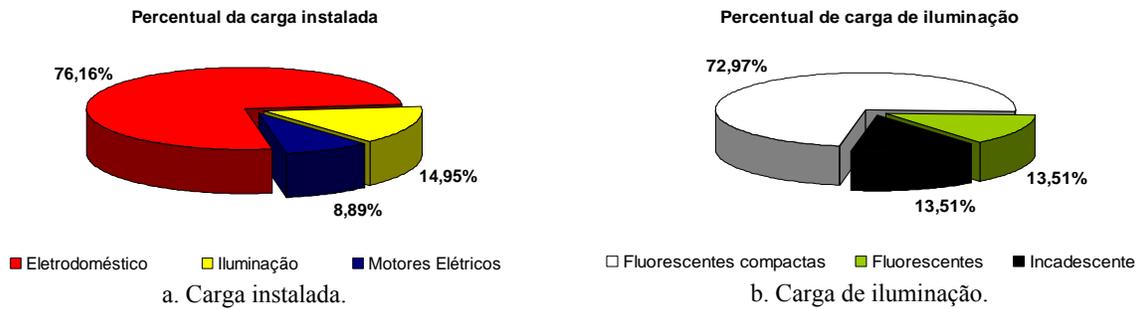


Figura 6- Percentual do tipo de carga atendida.

Grande parte dos eletrodomésticos existentes está relacionada com o conforto, refrigeração e lazer. Quanto aos tipos de cargas de iluminação, destacam-se as lâmpadas fluorescentes compactas, fluorescentes e as incandescentes de várias potências (Fig. 6b).

O grande percentual de utilização de lâmpadas fluorescentes compactas (cerca de 73 %) foi originado pela aplicação de um plano de conservação de energia. Esse plano consistiu na doação desse tipo de lâmpada às residências da vila e em orientações aos usuários de como utilizar os benefícios da energia elétrica da forma mais racional possível.

Atualmente, observa-se que o número de lâmpadas incandescentes está crescendo nas residências, apesar de sua baixa eficiência e alto consumo, o qual é um vilão para a conservação de energia, seja em sistema híbrido (limitação de geração e a intermitência das fontes primárias) como em qualquer outro tipo de sistema de eletrificação.

A disseminação do uso das lâmpadas incandescentes deve-se à pouca necessidade de peças e acessórios para sua utilização e, principalmente, ao baixo custo de aquisição, enquanto que a opção pelas lâmpadas mais eficientes e econômicas, como as fluorescente compactas, esbarra no alto custo dos equipamentos de boa qualidade.

5.2 Demanda

A Fig. 7 mostra a curva de carga (demanda) atual estimada da vila de São Tomé. Observa-se que a demanda máxima ocorre nas primeiras horas do anoitecer (intervalo de 18:00 às 21:00 horas, aproximadamente), decorrentes das entradas de cargas comumente usadas neste período (lâmpadas e televisores, por exemplo), enquanto que as menores demandas ocorrem no período da manhã, através da utilização de cargas eventuais, como ferro de passar, máquina de lavar, liquidificadores, etc.

Outro fator que contribui para a ocorrência de demandas pequenas no período da manhã é a saída dos usuários de suas residências em direção ao campo (pequena atividade agrícola) e aos rios e lagos (atividade de pesca).

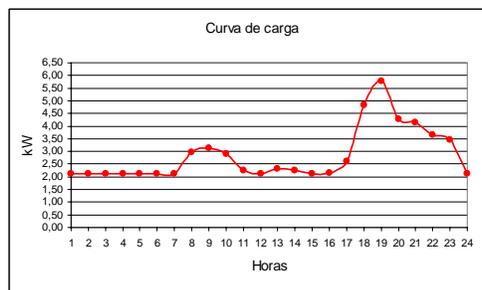


Figura 7- Curva de carga.

A potência demandada durante as primeiras horas do dia (madrugada) nas comunidades reflete o uso da energia elétrica para a iluminação residencial, pois, os moradores locais utilizam esse artifício para evitar furtos em suas propriedades ou ainda ataques de animais de hábitos noturnos, como morcegos.

É importante comentar que essa curva de carga é apenas uma estimativa, no entanto, dificilmente o seu perfil terá variações acentuadas.

5.3 Qualidade de Energia

Dentre os problemas de qualidade de energia verificados no sistema híbrido de São Tomé destacaram-se (Barbosa *et alii*, 2005):

- Distorções harmônicas – elevadas distorções harmônicas, principalmente de corrente, são devido ao grande uso de cargas não-lineares (exemplo, utilização de lâmpadas fluorescentes compactas destinadas à conservação de energia, televisores, refrigeradores, etc.), e à alta impedância do sistema. Por exemplo, em demanda máxima, a Distorção Harmônica Total de Corrente (THD_i) para as fases A e B eram 42,65 e 24,36 %, respectivamente.
- Desbalanceamento de potência nas fases – Esse efeito é exemplificado na Fig. 8, que representa o espectro harmônico de amplitude da corrente no condutor neutro de São Tomé com o grupo gerador a diesel operando.

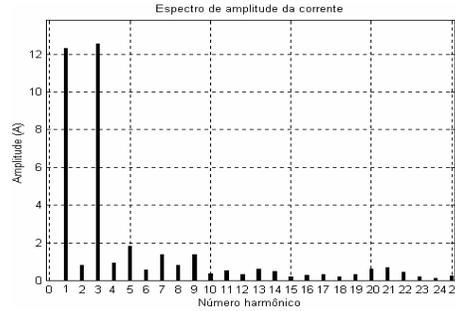


Figura 8- Espectro harmônico de amplitude da corrente no condutor neutro.

- Afundamentos de tensão (*sag*) – decorrentes da elevada corrente de surto devida ao acionamento de motores elétricos. A Fig. 9, obtida de medição realizada durante o período de baixa demanda na fase C do sistema da vila de São Tomé (diesel operando), exemplifica um afundamento de tensão de 126,3 V_{rms} para 86,1 V_{rms} no momento da partida de uma moto-bomba (corrente de surto superior a 26 A).

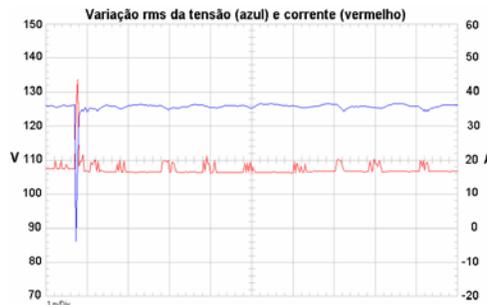


Figura 9- Variação do valor rms de tensão e corrente da fase C.

- Quedas de tensão – verificou-se que havia quedas de tensão nos finais da minirrede que, dependendo do valor (*rms*) da tensão no barramento de saída, da distância geração-consumo e do carregamento das fases às quais as unidades consumidoras estavam ligadas, poderiam ser bastante elevadas. Na Tab. 1 são mostrados os valores monitorados de tensão, corrente (*rms*) e frequência. Por exemplo, a tensão de 112 V_{rms} (queda de 15,1 V_{rms}) na unidade consumidora 09 (fase C – mais carregada), caracterizava um atendimento precário – $109 \leq V_{\text{medido}} < 116 V_{\text{rms}}$ ou $132 < V_{\text{medido}} \leq 140 V_{\text{rms}}$ (RESOLUÇÃO N°. 676 – ANEEL, 2003) – à mesma. Outro ponto de atendimento precário, porém este com tensão elevada, devido à fase B ser a menor carregada do sistema, encontrava-se na unidade consumidora 11 (134 V_{rms}). A Fig. 10 destaca os pontos monitorados.

Tabela 1. Valores monitorados de tensão, corrente e frequência.

UC's	FASE	BARRAMENTO DE SAÍDA V _{rms}		DIESEL OPERANDO			INVERSOR OPERANDO			NOTA
		DIESEL	INVERSOR	V _{rms}	A _{rms}	Hz	V _{rms}	A _{rms}	Hz	
24	A	131,6	ND	127	2,26	59,4	ND	ND	ND	Maior carga instalada
08	A	131,6	126,4	124	1,76	58,8	117,9	2,25	60,6	Final de rede
11	B	134,8	ND	134	1,44	58	ND	ND	ND	Final de rede
09	C	127,1	122,1	112	1,14	58,1	117	1,19	60,2	Final de rede
60	C	128,7	122,2	126	1,12	58,4	122	1,04	60,6	Final de rede

UC's - unidades consumidoras.

ND - não disponível.

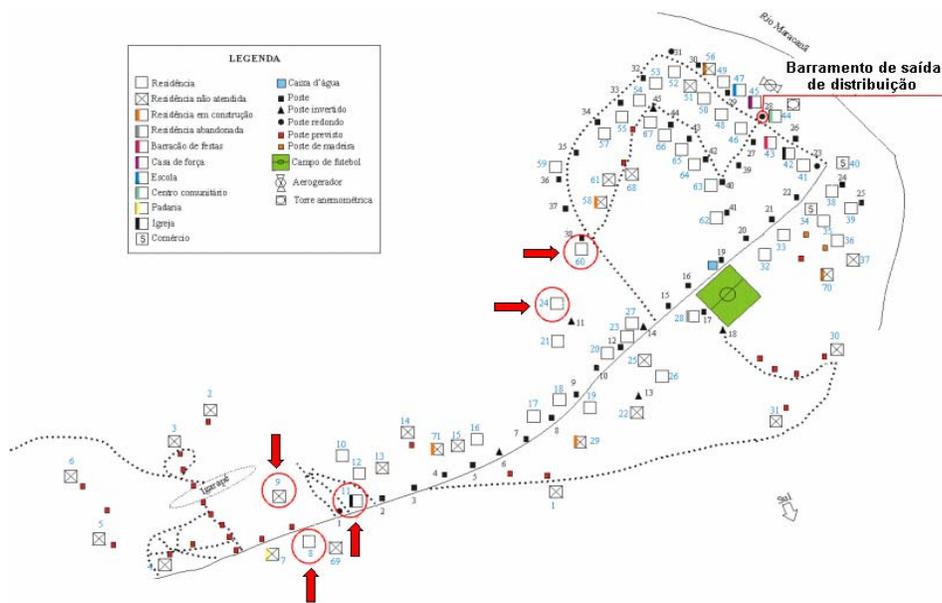


Figura 10- Croquis da vila de São Tomé (em destaque os pontos monitorados).

- Variação de freqüência – havia grande variação da freqüência padrão, quando na operação do sistema diesel-elétrico, devido à falta de um controle tensão/freqüência apropriado na maioria dos grupos geradores a diesel de pequeno porte. Como exemplo, da Tab. 1, observa uma variação na freqüência em média de $\pm 3\%$, com máximo de 6,25%.
- Descontinuidade no fornecimento – surgia pela intermitência das fontes renováveis de energia, aliada a falta de recursos financeiros suficientes para a compra de óleo diesel, que assegurasse a continuidade do serviço.

6. PRINCIPAIS IMPACTOS ASSOCIADOS À IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Em sua grande maioria, os impactos apresentaram características mais benéficas do que maléficas, especialmente por se tratar de um sistema de geração híbrido considerado de pequeno porte, com capacidade total de 26,7 kW, e baseado nos recursos renováveis (Barbosa *et alii*, 2007).

6.1 Impactos ambientais

Considerando a inserção do sistema no meio ambiente, o principal impacto negativo constituiu-se na necessidade da coleta das baterias pelo GEDAE/UFGA para adoção de um processo de reciclagem. Foram realizadas duas coletas: 1ª. em junho de 2005 (substituição do banco de baterias) e a 2ª. em fevereiro de 2007 (durante a desmobilização do sistema). Outros impactos, como o visual e o sonoro (aerogerador e grupo gerador a diesel), e do espaço utilizado para instalação do subsistema de geração fotovoltaico, ou do próprio sistema híbrido em si, são diminutos:

- Nenhuma manifestação de descontentamento com o ruído foi registrada por parte dos moradores próximos do sistema – Esse fato é atribuído à utilização de aerogerador sem caixa de multiplicação (engrenagens), sendo, portanto, o ruído (baixo) desses subsistemas de geração oriundo principalmente do efeito aerodinâmico das pás; e à unidade geradora do subsistema de geração diesel-elétrica estar confinada em abrigo fechado (casa de força), reduzindo assim parcialmente os ruídos;
- A atração visual que se tornou o sistema híbrido com o aerogerador e sua grande torre – Destaca-se a grande atração que o sistema híbrido de São Tomé se tornou, a exemplos de outros sistemas híbridos. O aerogerador e sua torre implantados constituíram uma visão atrativa em terra, para os moradores locais e visitantes, e no rio Maracã para as embarcações que neles navegam;
- O pequeno espaço físico utilizado pelo sistema, que não ocasionava perda de espaço para outras finalidades – Tal fato é decorrente, sobretudo, ao porte do sistema (pequeno).
- Mortandade de pássaros – quase inexistente; a exceção foi o registro da colisão de um urubu contra o aerogerador do sistema.

6.2 Impactos socioeconômicos

Desde o início do projeto de implantação do sistema híbrido, notou-se uma substancial mudança no dia a dia dos moradores locais. Pode-se destacar como uma das principais mudanças ocorridas na comunidade a substituição total ou

parcial das mais diversas fontes de energia elétrica outrora utilizadas, tais como, pilhas, baterias recarregáveis, óleo diesel, querosene, GLP, etc., para iluminação e atendimento de pequenas cargas (rádios, televisores, refrigeradores, entre outros), pela energia produzida pelo sistema híbrido.

Outro impacto observado foi o aumento do número de moradores da vila (crescimento populacional). A Tab. 2 mostra um comparativo do número de famílias e moradores, antes e depois da inserção do sistema híbrido.

Tabela 2. Número de famílias e moradores.

FAMÍLIAS						MORADORES					
ANTES		DEPOIS				ANTES		DEPOIS			
N.º	ANO	N.º	ANO	N.º	ANO	N.º	ANO	N.º	ANO	N.º	ANO
38	2002	46	2004	44	2006	218	2002	248	2004	231	2006

Impactos de ordem econômica, naturais do significativo aumento de atividades comerciais de comércios, bares, entre outros, sustentada pela energia elétrica, destacaram-se também.

6.3 Outros impactos

Dentre outros impactos, os que merecem destaque são:

- Constantes visitas de pessoas, grupos nacionais e estrangeiros de pesquisa interessados em aprender, divulgar e disseminar as experiências adquiridas.
- Crescimento acentuado da carga instalada, principalmente, de eletrodomésticos, em função da melhoria da renda, ocasionado pela ampliação das atividades econômicas. Na Tab. 3 são mostradas as quantidades dos principais eletrodomésticos, existentes na vila, antes e depois do comissionamento do sistema.

Tabela 3. Aparelhos eletrodomésticos existentes na vila.

ELETRODOMÉSTICOS	ANTES (2002)	DEPOIS	
		(2004)	(2006)
Ventilador	0	0	2
Refrigerador	0	6	7
Ferro de passar	0	4	13
Liquidificador	0	10	7
Rádio	23	11	21
Aparelho de Som	4	3	9
Televisor	15	25	32

- Crescimento acentuado das unidades consumidoras, o que comprometeu a operação do sistema híbrido, dada a limitação da geração e a intermitência das fontes renováveis. A Tab. 4 mostra a evolução das unidades consumidoras.

Tabela 4. Evolução das unidades consumidoras.

UNIDADES CONSUMIDORAS	ANO			
	2002	2003	2004	2006
Atendidas	0	40	51	64
Não atendidas	51	15	20	19
Total	51	65	71	83

7. GESTÃO E SUSTENTABILIDADE

A gestão utilizada no sistema híbrido da vila de São Tomé era realizada pela comunidade local por intermédio de dois moradores, escolhidos pela própria comunidade e que se mostraram bastantes interessados em contribuir com o referido trabalho e assimilar novos conhecimentos.

Esses dois moradores, que operavam o sistema, foram capacitados pelo agente executor da implantação do sistema híbrido (GEDAE/UFPA). As principais atividades que eram realizadas pelos mesmos são elencadas a seguir:

- Comutação do subsistema de geração renovável para o diesel-elétrico e vice versa;
- Abastecimento com combustível o grupo gerador a diesel;
- Limpeza periódica da cobertura frontal dos módulos fotovoltaicos;
- Verificação da tensão mecânica dos cabos de estaiamento da torre/aerogerador e da estação meteorológica.

- Conservação e limpeza da casa de força e dos equipamentos nela abrigados;
- Pequenos ajustes e reparos na minirrede de distribuição de energia e nas unidades consumidoras.

Nos casos de eventuais faltas graves, de serviços que exigiam conhecimento especializado, ou de mediações entre a própria comunidade sobre o sistema híbrido, os operadores entravam em contato com o GEDAE/UFPA para o devido apoio.

Outro papel importante desempenhado pelos operadores era a troca e a venda dos cartões de energia do sistema de pré-pagamento de eletricidade (Fig. 11). Esse sistema é semelhante ao sistema de pagamento antecipado referente aos serviços prestados pelas empresas de telefonia celular, os telefones celulares de cartão. A compra antecipada de certa forma já era o utilizado pelos moradores da vila, uma vez que a aquisição de seus energéticos, como pilhas, óleo diesel, vela, recarga de baterias, etc., era realizada com o pagamento antecipado (Barbosa *et alii*, 2004).



Figura 11- Sistema pré-pago de eletricidade.

O cartão de energia era padronizado em 30 kWh, sendo seu preço de R\$ 12,00. Tal valor foi definido com base na tarifa aplicada pela concessionária de energia em Belém (aproximadamente R\$ 0,40/kWh), e equivalia a cerca da metade dos gastos com energéticos para geração de eletricidade (R\$ 22,00) outrora utilizados.

A arrecadação oriunda da venda dos cartões remunerava os operadores, R\$ 1,00 por cartão vendido para cada um, e o restante era destinado à operação/manutenção do subsistema diesel-elétrico (compra de óleo diesel, óleo lubrificante, filtro de ar, etc.).

O GEDAE/UFPA auxiliava na gestão do sistema através de viagens mensais à comunidade para verificar o desempenho dos equipamentos tanto de geração, condicionamento de potência e armazenamento do sistema híbrido, como também dos equipamentos do sistema pré-pago localizados nas próprias unidades consumidoras. Nessas viagens, o GEDAE/UFPA, abastecia, quando necessário, os operadores com novos cartões de energia com créditos e resgatava os já utilizados, para nova carga. Ademais, coletava ainda os dados da estação meteorológica, para o tratamento adequado, que serviam de base para um estudo sobre a geração do sistema renovável.

O papel da Prefeitura Municipal de Maracanã na gestão, no princípio do funcionamento do sistema híbrido, restringia-se em disponibilizar 200 L/mês de óleo diesel à comunidade, para operação do sistema diesel-elétrico, o que foi suspenso com a mudança da administração ocorrida no ano de 2005.

Além disso, promessas da Prefeitura Municipal de se levar energia da rede de distribuição convencional (distante cerca de 6 km) à vila o mais rápido possível criaram uma relutância em alguns moradores locais com relação à efetivação de uma possível expansão da geração renovável. Isso porque eles acreditavam que, com a implementação da expansão, a opção de extensão de rede para um atendimento mais “confiável” das necessidades básicas de eletricidade da vila nunca seria realizada.

Problemas operacionais técnicos (excesso e déficit de créditos de energia; falta de comunicação gerenciadores/medidores) com os medidores de energia do sistema de pré-pagamento, bem como na geração dos créditos (software apresentou falhas na geração de créditos, inutilizando alguns cartões), fez com que fosse desabilitado o sistema pré-pago.

Como alternativa para arrecadação, colocou-se em prática a cobrança de taxas mensais (R\$ 10,00 residências sem motores elétricos, R\$ 15,00 residências com motores elétricos) por unidade consumidora. Essa alternativa partiu da própria comunidade.

Em um estudo, realizado na vila de São Tomé por sociólogos contratados pela PETROBRAS, cujo objetivo centrou-se na avaliação da viabilidade de sustentabilidade do sistema de eletrificação, verificou-se também conflitos de interesses internos partindo de grupos distintos, a saber: grupo próximo do sistema de geração, formados por moradores mais antigos, sendo na maioria composta por pescadores e católicos; e grupo mais afastado do sistema de geração, formados por moradores mais novos, sendo na maioria composta por agricultores e evangélicos. Estes conflitos, de certa forma, prejudicaram o principal objetivo da implantação do sistema híbrido, que era o atendimento coletivo das necessidades básicas dos moradores locais.

Esse fato é visível na atuação dos próprios operadores do sistema que, por fazerem parte de um grupo, demoravam a informar aos moradores membros do outro grupo a respeito da arrecadação (prestação de contas), ou de qualquer outra questão referente à operação do sistema híbrido.

Há que se destacar a transparência e imparcialidade da escolha dos operadores mediada pelo GEDAE/UFPA; a falta de participação, de operadores pertencentes ao outro grupo, tornando o corpo de operadores mais representativo, deu-se pela própria falta de iniciativa dos mesmos.

Diante desse contexto, o sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diesel de São Tomé, dificilmente seria sustentável após a retirada completa do auxílio do agente executor da implantação e do aporte de recursos do financiador.

8. EXTENSÃO DE REDE (PROGRAMA LUZ PARA TODOS) E DESMOBILIZAÇÃO DO SISTEMA

No final do ano de 2006, a concessionária de energia iniciou a eletrificação da vila por simples extensão de rede na ótica do Programa Luz para Todos do Governo Federal. O projeto foi finalizado em abril de 2007, tendo a forma de extensão da rede do tipo monofilar com retorno por terra, ou simplesmente MRT.

Atualmente, a extensão disponibiliza energia elétrica de geração convencional a todos as unidades consumidoras da vila, sendo o atendimento monofásico seguindo padrões de atendimento da concessionária. A tarifação é realizada periodicamente através de leituras de consumo e emissão de faturas.

Nenhum equipamento do sistema híbrido foi integrado ao projeto de eletrificação da concessionária. A possível interligação entre os sistemas, ou ainda, a utilização do sistema híbrido como um sistema reserva, foi descartada. Por esse motivo, aliado também aos furtos ocorridos de alguns equipamentos e componentes do sistema fotovoltaico-eólico-diesel (cabearamento da minirrede, cabearamento dos aerogeradores, medidores de energia, etc.), fez-se necessário sua desmobilização.

A desmobilização foi realizada em etapas, iniciando-se em janeiro de 2007, com a retirada dos módulos fotovoltaicos, uma vez que apenas o sistema diesel-elétrico estava operando na época (o inversor de tensão apresentava mau funcionamento). Dificuldades para retirada dos módulos da estrutura de suporte foram enfrentadas, devida principalmente a ação da salinidade do ambiente nos parafusos de fixação (ferrugem). As caixas padrão, os medidores e gerenciados de energia foram também retirados nesta etapa.

O banco de baterias, o inversor de tensão, o retificador, as chaves e disjuntores de proteção, o grupo gerador a diesel, e o cabearamento da minirrede de distribuição foram desmobilizados na etapa seguinte. Tal etapa somente foi realizada após a eletrificação da vila pela MRT.

O conjunto torre/aerogerador e a estação meteorológica foram desmobilizados na terceira etapa, sendo para isso considerados todos os procedimentos de segurança tanto para os equipamentos como para as pessoas envolvidas durante essas atividades. A ferrugem em alguns componentes também foi um problema enfrentado nesta etapa.

Finalmente, com auxílio de um caminhão munk, os postes de concreto da minirrede foi retirada (alguns foram solicitados para utilização comum dos moradores locais – 3 unidades).

Os equipamentos e componentes citados anteriormente foram transportados de forma adequada e segura até a UFPA, sendo hoje guardados pelo GEDAE para aplicação futura no desenvolvimento e inovação na área de sistemas de geração de eletricidade com fontes de energia renováveis.

É importante comentar ainda que a edificação da casa de força tornou-se um bem comunitária da vila, sendo no futuro adaptada para funcionamento como posto de saúde

9. COMENTÁRIOS FINAIS

A instalação do sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diesel contribuiu sem sombra de dúvidas para o desenvolvimento e a integração socioeconômica da comunidade de São Tomé, bem como para a formação e capacitação de mão-de-obra especializada.

O sistema aqui estudado ainda serviu de laboratório, fornecendo dados concretos para todo e qualquer desenvolvimento regional futuro, associado à geração de energia elétrica, principalmente em relação à Universalização do Serviço de Eletricidade, uma vez que tais sistemas apresentam-se como uma alternativa viável e promissora para o atendimento isolado das inúmeras comunidades espalhadas pela Região Amazônica.

Agradecimentos

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro dado ao desenvolvimento deste trabalho e ao GEDAE pelas informações fornecidas.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, C. F. O., 2004. Montagem, Comissionamento e Telesupervisão de um Sistema Híbrido Solar-Eólico-Diesel para Geração de Eletricidade, Trabalho de Conclusão de Curso, UFPA, Belém, Pará.
- Barbosa, C. F. O., Pereira, E. J. S., Souza, H. M. S., Pinho, J. T., Blasques, L. C. M., Galhardo, M. A. B., Negrão, W. M., 2007, Apostila sobre Sistemas Híbridos Fotovoltaico-Eólico-Diesel para Geração de Energia Elétrica, PROJETO BRA/99/011, Carta de Acordo 001/2007, MME-PNUD-UFPA-FADESP.

- Barbosa, C. F. O., Pinho J. T., Galhardo, M. A. B., Cruz, D. P., Maranhão, W. M. A., Araújo, R. G., 2005. Análise da Qualidade de Energia Elétrica Fornecida por um Sistema Híbrido de Pequeno Porte, XVIII SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba, Paraná.
- Barbosa, C. F. O., Pinho, J. T., Galhardo, M. A. B., Cruz, D. P., Araújo, R. G., 2004. Implantation and Operation of the First Electricity Pre-Payment System in Brazil, Installed in an Isolated Community in the Amazon Region, IEEE/PES T&D 2004 LATIN AMERICA, São Paulo, São Paulo.
- GEDAE – Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas, 2008, Informações fornecidas.
- RESOLUÇÃO N° 676 – ANEEL, 2003. Agência Nacional de Energia Elétrica, 16 de dezembro de 2003.

EXPERIENCES ACQUIRED WITH THE HYBRID SYSTEM PHOTOVOLTAIC-WIND-DIESEL OF SÃO TOMÉ

Abstract. *This work approaches the main acquired experiences during the installation, operation and demobilization of the Hybrid System Photovoltaic-Wind-Diesel for the generation of electricity village of São Tomé, municipal district of Maracanã, State of Pará. For so much, firstly the village, the hybrid system and the potential of the resources are characterized. Soon afterwards, they are presented information brief of assembly (techniques and installation recommendations), of load (installed load, demand and quality of energy), of impacts (environmental, socioeconomic and other), of administration and sustainability electric system. Finally, the inherent subjects are treated the extension of conventional net and the demobilization of the hybrid system.*

Key words: Hybrid Power System, Isolated Generation, Renewable Energies, No renewable Energy, Net Extension