

IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO “GELO SOLAR” EM COMUNIDADE ISOLADA NA AMAZÔNIA

Aurélio de Andrade Souza Neto – aurelio@iee.usp.br

Roberto Zilles – zilles@iee.usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente, Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos

Dávila Corrêa – davila@mamiraua.org.br

Ana Claudeise Nascimento – claudise@mamiraua.org.br

Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá

Resumo. Este artigo apresenta a experiência com implementação de máquina de gelo solar em comunidade isolada da Amazônia brasileira. A máquina de gelo solar é um equipamento composto por gerador solar fotovoltaico, eletrônica para controle de potência, conjunto moto-compressor, circuito de condensação e evaporação para produção do frio e câmara fria para conservação de gelo. A implementação do projeto em campo demandou um grande esforço logístico, além de trabalho de coordenação de atividades técnicas, comerciais e sociais. A fase inicial de implementação do projeto foi concluída com a instalação de quatro máquinas de gelo solar, e agora se inicia a fase de monitoramento e acompanhamento dos resultados qualitativos e quantitativos.

Palavras-chave: Energia Solar, Gelo Solar, Geração Distribuída

1. INTRODUÇÃO

Este artigo descreve as atividades desenvolvidas no Laboratório de Sistemas Fotovoltaico (LSF) do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) e atividades em campo desenvolvidas pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDS), com apoio técnico e de engenharia da empresa de consultoria USINAZUL, visando a instalação de quatro máquinas produtoras de gelo acionadas com energia solar fotovoltaica. As Máquinas de Gelo Solar (MGS) foram instaladas na comunidade de Vila Nova do Amanã, na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (RDSA) e na Pousada Uacari, na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM), Estado do Amazonas. A implementação do projeto em campo foi possível graças ao apoio financeiro do Google, via prêmio “Desafio de Impacto Social”, que ocorreu em 2014.

Sobreviver em comunidades sem energia elétrica e geograficamente distante dos centros urbanos, ou com energia elétrica intermitente e proveniente de grupos geradores a diesel, apresenta grande dificuldade e desafios para populações tradicionais. A matriz energética dependente de combustíveis fósseis é uma realidade nestas comunidades, onerando a geração de energia por conta dos altos custos envolvidos em transportar diesel e gasolina por grandes distâncias rio a dentro. Ademais, o funcionamento intermitente dos grupos geradores a diesel, normalmente das 18 as 22 horas, impede a operação de equipamentos para conservação de alimentos, tal qual geladeiras e congeladores.

A região Norte do país apresenta grandes desafios no que se refere ao acesso de comunidades tradicionais a sistemas de energia sustentáveis e confiáveis. Segundo dados do Censo Demográfico de 2010 do IBGE, cerca de 26% da população rural da região Norte não tem acesso à energia elétrica, e, tradicionalmente, comunidades isoladas são atendidas por grupos geradores a diesel conectados à uma minirrede local de distribuição de energia elétrica. Com frequência estes sistemas ficam parados por falta ou por baixo nível de manutenção e podem representar elevados custos para a comunidade. Portanto, a inserção de fontes renováveis de energia, tal qual a solar fotovoltaica, representa uma diferença significativa para tais comunidades, permitindo diversos ganhos diretos e indiretos, econômico, social e ambiental.

Do ponto de vista socioeconômico, a incapacidade de conservar alimentos in natura, pela falta de energia, aliado a ausência de um mercado consumidor próximo, para venda e troca de produtos provenientes de atividades tradicionais, deixa as comunidades vulneráveis, geralmente realizando a venda da produção a baixo preço. O intermediário que compra o produto fresco do pescador tradicional possui os meios de conservação e os meios de transporte, muitas vezes monopolizando o acesso do pescador ao mercado consumidor.

Assim, a falta de conservação de pescados frescos da pesca tradicional é um dos problemas equacionados neste projeto, pois introduz na comunidade um sistema gerador de energia limpa com fonte renovável, a energia solar fotovoltaica, criando as condições para que o sistema energético opere com baixo custo e de forma sustentável. Ao produzir gelo com energia solar localmente, o ribeirinho poderá conservar seu produto e transportá-lo para o centro consumidor pessoalmente, tendo a opção de não utilizar o intermediário..

A tecnologia solar fotovoltaica e a aplicação desenvolvida em laboratório, associada a tecnologia social de organização e empoderamento das comunidades realizada por organismos-não-governamentais (ONGs) presente localmente, são um divisor de águas para populações que vivem isoladas. Ao final do processo de implementação das

MGS, é importante que a gestão comunitária da tecnologia seja efetivada e adaptada para a realidade local, permitindo que o modelo seja reaplicado em outras comunidades.

Neste projeto, a mobilização comunitária é organizada pelas lideranças locais com apoio do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, a ONG que atua na pesquisa, conservação da biodiversidade e que realiza trabalhos sociais com comunidade de bases na região. O artigo apresenta o contexto em que a MGS foi instalada, as atividades realizadas, dificuldades encontradas e os resultados alcançados até o momento. O artigo ainda aborda algumas questões técnicas acerca da tecnologia solar e a geração de frio.

2. A MÁQUINA DE GELO SOLAR

O equipamento é composto por painel solar, câmara fria com bom isolamento térmico e circuito eletrônico de conversão e controle. A MGS possui um controle automático que permite ligar quando o sol nasce, e desligar quando ele se põe. Seu funcionamento é através da incidência da radiação solar no painel fotovoltaico que é transformada em eletricidade, e utilizada para acionamento do moto-compressor que, por sua vez, produzirá o frio.

A MGS foi projetada para produzir em média 27 kg de gelo por dia, considerando uma irradiação solar diária acima de 5,5 kWh/m². Detalhes operacionais dos equipamentos e sistemas de conversão de energia e controle da MGS podem ser consultados em artigos publicados por Driemeier e Zilles, 2010 e em Almeida et al, 2010. Todos os componentes utilizados estão disponíveis nos mercados de refrigeração e no mercado de energia solar brasileiro.



(a)



(b)

Figura 1- (a) Máquinas de Gelo Solar Instaladas, (b) painel solar 3,3 kWp

Um ponto importante na produção de gelo é a disponibilidade de água limpa para conservação de alimentos e outras aplicações que serão para consumo humano. No projeto implementado nas RDS's Mamirauá e Amanã, um sistema de captação de água da chuva foi instalado e prevê o acumulo de 10.000 litros em reservatório de PVC, posicionados em local que capta a água de telhado. O sistema é composto por dois reservatórios, um inferior para receber a água da chuva de 5.000 litros, e outro reservatório superior que receberá água bombeada do reservatório inferior, também de 5.000 litros. A elevação da água é feita por bombeamento solar utilizando um sistema de 100 Watts e bomba de superfície de baixa vazão, mas suficiente para atender a demanda diária de água (81 litros para produzir 81 kg de gelo).

A Fig. 1 (a) apresenta as três máquinas em operação na comunidade Vila Nova do Amanã. A quarta máquina, aquela instalada na Pousada Uacari, servirá tanto para produzir gelo para a pousada, mas também como a máquina de controle, observação e monitoramento. A proximidade da Pousada com a base operacional do IDSM permite uma visitação mais frequente e maior levantamento de dados técnicos por parte da equipe do instituto. A Fig. 1 (b) apresenta o painel solar instalado no telhado da “fabrica de gelo”, como é chamada pela comunidade.

3. SELEÇÃO DA COMUNIDADE

Desde o ano 2000 o LSF coopera com o IDSM em projetos de aplicação da energia solar fotovoltaica em comunidades rurais no médio Solimões. Em 2004 foi implementado na comunidade de São Francisco de Aiúca os Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI), este projeto gerou informação qualitativa e quantitativa sobre demanda e consumo de energia residencial em comunidades tradicionais e isoladas do Amazonas.

O projeto em Aiucá testou os primeiros SIGFI, conforme regulamentado pela Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e permitiu melhor entendimento sobre a parte técnica da geração e utilização da energia solar

residencial, e também confirmou a viabilidade técnica e operacional de sistemas fotovoltaicos na Região Norte, em particular dentro da RDSM (Valer et al, 2014). Essa experiência ampliou o conhecimento sobre energia solar por parte da equipe técnica do IDSM e das comunidades.

Diferente do sistema residencial utilizando o SIGFI, o conjunto de MGS foi instalado visando o uso comunitário e, portanto, requer uma estratégia de gestão diferente do sistema de energia solar individual. Assim, a seleção da comunidade se apoiou em premissas baseadas na experiência prévia do IDSM com trabalhos realizados em comunidades locais, e também na existência de experiências prévias da comunidade com sistemas de energia solar e outras tecnologias sociais já implementadas, a exemplo do bombeamento solar e iluminação pública solar (Fig. 3 e Fig. 4).

A comunidade Vila Nova do Amanã possui cerca de 60 moradores, divididos em nove famílias que vivem da pesca, da atividade extrativista madeireira e não madeireira e da comercialização de produtos locais, tal qual a farinha, frutas e demais produtos florestais. A existência de tecnologias sociais no local e a boa gestão dos equipamentos comunitários habilitaram esta comunidade para participar do projeto.

O projeto permitirá que a experiência no local possa ser representativa do ponto de vista de aprendizado e viabilizar a replicação deste modelo em outros locais.

4. SISTEMAS ENERGÉTICOS DE VILA NOVA DO AMANÃ

Vila Nova do Amanã é uma comunidade diferenciada de muitas outras na Amazônia. O fato de existir no local sistema de geração a Diesel, que segue o modelo tradicional de mini-rede com poucas horas de funcionamento por dia, e sistemas de energia solar, que operam diariamente durante muitas horas seguidas, permite que a comunidade perceba a diferença sistêmica e de regime de operação dessas opções de suprimento de energia elétrica. Adicionalmente, é possível perceber a grande diferença associada ao custo operacional e de manutenção de ambos sistemas.

Assim, em Vila Nova coexistem o sistema de geração de energia elétrica com combustível fóssil e também com energia solar, facilitando um entendimento amplo das diferenças entre tecnologias, e permitindo que a comunidade estivesse mais preparada que outras comunidades da região para assumir a gestão deste novo sistema energético com fonte renovável, que é a MGS.

4.1 Geração a Diesel

A principal fonte de energia elétrica local é o Diesel, que fornece energia durante quatro horas por dia, das 18 às 22 horas, quando o gerador encontra-se operacional. O grupo gerador utilizado nesta comunidade é apresentado na Fig.2., no momento da reposição do gerador na comunidade, pois o mesmo tinha acabado de retornar da manutenção corretiva, onde permaneceu por mais de 30 dias. Neste período, que a comunidade ficou sem o “gerador de luz”, como é chamado localmente, a população utilizou outras fontes de energia para iluminação, tipo querosene e velas. Além de algumas famílias que possuem geradores individuais, e, normalmente, estendem o tempo de iluminação noturna e a possibilidade de ligar outros aparelhos.



Figura 2- Grupo gerador a Diesel

4.2 Geração com fontes renováveis

A comunidade de Vila Nova do Amanã também possui sistemas fotovoltaicos para produção de energia elétrica. Nesse artigo não se aprofunda nos detalhes de cada sistema instalado, mas é importante pontuar a experiência prévia da comunidade com as aplicações da energia solar fotovoltaica.

Os sistemas fotovoltaicos instalados são frutos de projetos e cooperação do IDSM com diversas instituições de financiamento nacionais e internacionais. Toda a capacitação e transferência de conhecimento para manutenção e operação dos sistemas fotovoltaicos são realizados em diversas fases por técnicos do IDSM (Moura et al, 2013). Os dois sistemas comunitários acionados por energia solar são:

- **Bombeamento solar de água:** O abastecimento de água na comunidade é feito com captação no rio e bombeado para reservatório elevado por um sistema solar fotovoltaico de bombeamento d'água. O gerador fotovoltaico flutua no leito do rio, a bomba submersa fica abaixo dos módulos fotovoltaicos e sistema de tubulação flexível transporta água até a caixa. O sistema funciona automaticamente, iniciando bombeamento pela manhã e finalizando com o pôr do sol.



(a)



(b)

Figura 3- Bombeamento Solar de Água – (a) painel solar (b) caixa d'água e filtro de areia

- **Iluminação pública com luminárias LED:** O campo de futebol da comunidade possui postes de iluminação associados a sistemas solar fotovoltaico. O sistema solar fotovoltaico faz o carregamento de baterias que fornecem energia para iluminação noturna. As luminárias em LED são bastante eficientes e de baixo consumo de energia, favorecendo a aplicação destas com a energia solar, o que permite funcionar por várias horas. O sistema foi montado de forma a funcionar automaticamente, pois acende as lâmpadas com o pôr do sol e funciona até momento que controlador de carga da bateria aciona o desligamento.



Figura 4- Iluminação de campo de futebol com energia Solar

5. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO GELO SOLAR

Todas as etapas do processo de implementação do projeto foram feitas de forma participativa, para que houvesse uma apropriação da tecnologia por parte das famílias e com isso o fortalecimento da responsabilidade com o bem coletivo. As principais etapas de desenvolvimento do projeto podem ser divididas de forma macro da seguinte forma:

5.1 Implementação do projeto em dimensão amazônica

O projeto foi organizado para implementar quatro máquinas de gelo solar, sendo três na comunidade Vila Nova do Amanã (RDS Amanã) e uma na Pousada Uacari I (RDS Mamirauá). Para o desenvolvimento do projeto foram consideradas as seguintes etapas: (i) preparatória (treinamento da equipe técnica e mobilização comunitária e institucional), (ii) instalação das máquinas de gelo solar e (iii) oficinas e treinamento para o uso coletivo.

Em Vila Nova do Amanã antes da instalação das máquinas foram realizadas visitas para conversa com os moradores sobre o projeto; investigação das condições de infraestrutura para acondicionar os equipamentos e definição das atribuições das instituições parceiras envolvidas.

Para o desenvolvimento do projeto na comunidade, a Prefeitura Municipal de Maraã (AM) foi contatada pelos moradores e equipe do projeto para apoiar na construção de um espaço comunitário, onde as máquinas ficariam instaladas. E para a realização das atividades técnicas em campo, a equipe do IDSM recebeu treinamento e durante a instalação foi acompanhada por pesquisadores do LSF-IEE/USP.

Após o período preparatório com os moradores da comunidade, as três máquinas foram instaladas em agosto de 2015, com o objetivo de testar o potencial das máquinas, considerando relação da demanda diária da população com a capacidade de produção no ambiente amazônico.

Na Pousada Uacari foi instalada uma máquina em concordância com os comunitários que fazem a gestão do empreendimento. Essa máquina, teste e controle, está sendo acompanhada pela equipe técnica para comparação das variáveis de monitoramento com as máquinas instaladas em Vila Nova do Amanã.

Durante a etapa preparatória o desafio foi a aquisição dos equipamentos principais (gabinete térmico isolado, quadros elétricos e módulos fotovoltaicos) em outro Estado, demandando um tempo de três meses desde a compra até a chegada em Tefê (AM). Na etapa de instalação o desafio foi a organização da logística para transporte dos equipamentos até a comunidade, pois a equipe precisou aguardar o melhor período de baixa das águas do rio, aguardando dois meses até a execução da atividade.

Com o funcionamento de todas as máquinas, tanto em Vila Nova do Amanã quanto na Pousada Uacari, os comunitários participaram de oficinas de gestão e treinamento de uso, com a finalidade de se estabelecer acordos de uso coletivo e compreender o funcionamento dos equipamentos. As oficinas foram mediadas pela equipe do IDSM, buscando trabalhar os conceitos e princípios de uma tecnologia social.

5.2 Estratégias de sustentabilidade

Foram pensadas em três fases de execução com objetivo de garantir a sustentabilidade do projeto. A primeira fase envolveu a implementação das quatro máquinas. E para isso, para que houvesse uma participação ativa das pessoas, foi necessário encontrar mecanismos de mobilização e sensibilização dos vários grupos envolvidos. Foram feitas diversas reuniões, oficinas de apoio a gestão comunitária da tecnologia social, encontros com os moradores da comunidade e também com autoridades locais que se comprometessem com o projeto, desde a construção até a manutenção do local onde foram instaladas as máquinas.

A análise da viabilidade da primeira fase do projeto está sendo feita por meio do monitoramento técnico e social com o intuito de identificar indicadores de sustentabilidade da tecnologia, como o aumento da renda familiar, a produção de gelo mensal, e a produção mensal de energia (kWh/mês).

Para a segunda fase estabeleceu-se a busca por parcerias e recursos que garantam a expansão do experimento em outras comunidades rurais, com o objetivo de aperfeiçoar a tecnologia e o modelo de gestão comunitário. Através principalmente de editais abertos que permitam a inserção de pesquisas de natureza aplicada.

A terceira fase será marcada pela disponibilização ou transferência da tecnologia. O objetivo dessa fase é influenciar políticas públicas que subsidiem o uso de energias renováveis para o desenvolvimento rural amazônico.

6. ECONOMIA LOCAL E GANHOS PROJETADOS

A troca de mercadorias é uma alternativa comum na economia ribeirinha amazônica, onde as relações econômicas se estabelecem a partir da relação de reciprocidade e de parentesco. Neste contexto, a comunidade de Vila Nova do Amanã possui uma competitividade estratégica, ela está situada em um ponto de passagem importante na RDSA, localizada no principal rio de acesso ao interior da unidade de conservação, portanto, funciona como um ponto de encontro e ponto de troca e comércio.

A economia gerada na comunidade com a produção do próprio gelo será muito importante. Atualmente, se gasta 10 a 12 horas, variando de acordo com o tipo de embarcação e nível do rio, para transportar uma carga de gelo de Tefê,

¹ É um empreendimento de turismo de base comunitária, criado em 1998, com o objetivo de contribuir para a conservação dos recursos naturais da RDS Mamirauá e gerar renda para os moradores. Sua administração, atualmente, ocorre de forma compartilhada entre a associação de moradores AAGEMAM (Associação de Auxiliares e Guias de Ecoturismo do Mamirauá) e o Instituto Mamirauá.

o principal centro urbano da região, até a comunidade. Esse tempo, segundo os moradores, gera uma perda aproximada de 30% de gelo, aumentando o prejuízo e custos.

Esse projeto faz o uso produtivo da energia solar e atua direta e positivamente na economia de comunidades tradicionais. A expectativa de aumento na renda das famílias é na ordem de 12%, além de melhorar qualitativamente a vida da população, pela possibilidade de consumir água gelada e poder conservar outros alimentos além do pescado. O projeto piloto teve início em agosto/2015 e dados de desempenho, satisfação e resultados socioeconômicos estão sendo coletados e serão divulgados oportunamente.

A tecnologia adotada não demanda baterias de acumulação eletroquímica, que é o componente que mais onera nos custos da manutenção no longo prazo, além de ser nociva ao meio ambiente, de modo que esta característica torna o projeto ainda mais atrativo para o perfil da população beneficiada.

Num período de sol pleno, a MGS produzirá cerca de 27 kg de gelo por dia. O conjunto de MGS, apresentado na Fig. 1, produzirá diariamente cerca de 81 kg de gelo. Em um ano a expectativa é de se produzir 7.500 kg por MGS, ou seja, a capacidade de produção anual de gelo é de aproximadamente 22 toneladas.

O ganho de produtividade neste projeto, vem, portanto, da possibilidade de conservação de alimentos provenientes da produção tradicional e extrativista: pescados, açaí e demais frutas, além da redução de perdas destes produtos e do próprio gelo comprado em Tefé. O gelo permite conservar maior volume de pescado, o que melhora as negociações com agentes intermediários, além de viabilizar o transporte diretamente para o centro consumidor, se assim os comunitários desejarem. A economia resultante destas diversas possibilidades reais de redução de custo e ganho de produtividade, representará o ganho econômico projetado e melhoria da qualidade de vida para esta comunidade.

7. CONCLUSÃO

O projeto de MGS encontra-se em desenvolvimento nas RDS's Mamirauá e Amanã, variáveis qualitativas (como satisfação da comunidade, usos diversos do gelo e modelos de gestão coletiva) e quantitativas (renda mensal com a venda do gelo ou com a venda do pescado direto no mercado local e a capacidade de produção mensal de energias no ambiente amazônico) serão monitoradas por um período de um ano. Ao final desse monitoramento a equipe espera validar a tecnologia considerando todos os aspectos de uso pela população.

As MGS funcionam diariamente e a produção de gelo é uma realidade em Vila Nova do Amanã. A medida que o tempo passa, a tecnologia é incorporada ao dia-a-dia da comunidade e os benefícios são observados. A tecnologia solar fotovoltaica se adapta bem às características locais e opera sem problemas. Em um dia ensolarado cada MGS produzirá cerca de 27 kg de gelo por dia. O conjunto de MGS, apresentado na Fig 1, produzirá cerca de 81 kg/dia de gelo. Em um ano a expectativa é de se produzir 7.500 kg por MGS, ou seja, a capacidade de produção anual de gelo é de cerca de 22 toneladas.

Nesta fase inicial o IDSM e a empresa USINAZUL ficarão responsáveis pelo monitoramento e acompanhamento técnico. A experiência em campo trará novas demandas para novos produtos e serviços e surtirá efeito em pesquisas em andamento no LSF-IEE/USP para aperfeiçoamento das MGS com maior capacidade e maior eficiência na conversão de energia em gelo.

Agradecimentos

O desenvolvimento das MGS contou com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT-EREEA). Os autores manifestam seu agradecimento ao Google pelo apoio e financiamento do projeto em campo. Um agradecimento especial aos moradores da comunidade de Vila Nova do Amanã.

REFERÊNCIAS

- Almeida, M., Pinto, A., Driemeier, C., Zilles, R. Sistema Fotovoltaico para Produção de Gelo para Pequenas Comunidades Isoladas sem Utilização de Acumulação Eletroquímica, III CBENS - III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém, 2010.
- Driemeier, C., Zilles, R. An ice machine adapted into an autonomous photovoltaic system without batteries using a variable-speed drive. Progress in Photovoltaics. 2010.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010universo.asp?o=7&i=P>>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- Moura, Edila A. F. ; Nascimento, A. Claudeise S. ; Corrêa, Dávila S., . Ciência, Tecnologia e Inovação social em pequenos agrupamentos populacionais na floresta alagada amazônica. In: XVI Congresso Brasileiro de Sociologia, 2013, Salvador. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Sociologia, 2013.
- Valer, I. Roberto ; Mocelin, André ; Zilles, Roberto ; Moura, Edila ; Nascimento, A. Claudeise S. . Assessment Of Socioeconomic Impacts Of Access To Electricity In Brazilian Amazon: Case Study In Two Communities In Mamirauá Reserve. Energy Sustainable Development, v. 20, p. 58-65, 2014.

IMPLEMENTATION OF "SOLAR ICE" PROJECT AT AN ISOLATED COMMUNITY IN THE AMAZON

Abstract: *This article presents the experience with implementation of solar icemaker in an isolated community in the Brazilian Amazon. The solar ice machine is a device composed of photovoltaic generator, electronics for power control, motor-compressor set, condensation and evaporation units, a circuit for cold production and a insulated cabinet for ice conservation. The implementation of field project required a huge logistical effort, and coordination work of technical, commercial and social activities. The initial phase of project implementation was completed with the installation of four solar ice machines, and now project enters in the phase of monitoring of qualitative and quantitative results.*

Key words: *Solar Energy, Solar Ice, Distributed Generation.*