

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA HÍBRIDO SOLAR-DIESEL: UM ESTUDO DE CASO

Elizabeth Ferreira Cartaxo, Gilberto de Martino Jannuzzi
Planejamento de Sistemas Energéticos da Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Mecânica/UNICAMP, Caixa Postal: 6122, CEP 13.081-970, Campinas-SP
cartaxo@fem.unicamp.br

Title: Economical and technic analysis of the a hybrid PV/diesel electrical energy supply system: a case's study

Abstract – This work analyses three electricity supply alternatives for Campinas Village, in the State of Amazonas, 10 hours by boat up the river Solimões. This study considers that the energy can be generated from diesel, solar photovoltaic and a combination of both sources (such a hybrid system is already installed in the Village). This paper will present the best operational and economical conditions of the three alternatives. Some energy demand characteristics of the Village are also presented.

Resumo – Este trabalho se propõe a fazer a análise de três alternativas de suprimento de energia elétrica na comunidade de Vila Campinas, interior do Amazonas. No estudo, considera-se que a energia será produzida a partir de um conjunto gerador, com um motor térmico e a partir de painéis solares. São analisadas as condições de geração de energia elétrica de um motor de combustão interna em duas condições diferentes de operação: com óleo diesel (já utilizado exaustivamente na região em termelétricas) e em um sistema híbrido solar-diesel; e o sistema operando unicamente com energia solar. A análise observará as melhores condições técnica e econômica apresentadas pelas três alternativas. O trabalho também apresenta características de consumo da população, resultado da coleta de dados realizada na Vila.

I. INTRODUÇÃO

A energia tem a sua história e a ela se confunde a história do processo econômico e social da humanidade. O homem descobriu que poderia movimentar mecanismos em uma escala mais importante, usando a força dos ventos e das águas em substituição a força braçal e a dos animais. A partir de então a energia passou a fazer parte das necessidades do Homem. Porém o acesso a energia não chegou a todos, cerca de 30% da população mundial consome 70% de toda a energia produzida. O número de pessoas sem energia elétrica chega a ser dois bilhões, somente no Brasil estima-se 35 milhões. Populações Rurais, vilas e pequenos povoados são os mais atingidos com esse problema, no que se reflete uma total carência de ordem social e econômica.

A energia é o fator básico de produção de um país, determina os padrões da sociedade, mostrando uma íntima e positiva correlação com o Produto Nacional Bruto - países ricos em geral, apresentam altos níveis de consumo de energia. O Brasil é um país que está em vias de desenvolvimento e é tido como um país rico. É dependente dos produtos derivados do petróleo. Muitas regiões brasileiras, como o caso da Região Amazônica, uma parcela de suas comunidades são supridas de forma precária, com intervalos de atendimento que variam de 4 a 8 horas diárias, e outras em que este serviço nem chega a se completar. A escassez de energia tem como resultante principal a limitação do ritmo e das tendências de crescimento econômico, social e humano.

A energia que abastece estas localidades é gerada, basicamente, em termelétricas, que utilizam o óleo diesel como energético. A matriz energética de um país deve ser equilibrada, através de sua auto-suficiência ou mediante volumes de exportação de outros bens, gerados pelo país, devem permitir a importação de energia sem desequilíbrios e aumentos excessivos em sua economia interna. Não é este o caso do Brasil, país rico em condições hídras para gerar energia numa determinada região e pobre e longínquo o suficiente para se revelar um país de desigualdades extremas.

Para este trabalho foi feito um levantamento de dados mediante a aplicação de questionários que compreendiam os setores residencial e comercial. A flexibilidade, formatação e simplicidade das perguntas existentes no questionário minimizaram os possíveis erros por parte dos entrevistados quando das respostas às perguntas.

O trabalho de campo referido segue a metodologia de Girod[1], quando da divisão dos setores primário, secundário e residencial, definidos a partir dos seus indicadores.

II. CARACTERÍSTICAS DE VILA CAMPINAS

Vila Campinas está localizada às margens do Rio Manacapuru próximo ao Paraná do Anamá e está aproximadamente a 53 Km em linha reta do Município de Manacapuru. Possui cerca de 1500 Km² e faz fronteira ao norte com o Município de Novo Airão do Amazonas, ao sul com Beruri, ao oeste com Caapiranga e leste com Manaquiri.

O acesso à Vila Campinas, saindo de Manaus, é feito primeiramente por via fluvial, como na maioria dos Municípios do Amazonas. A travessia da baía do Rio Negro, em barcas tipo "Ferry Boat" até Cacau Pirêra,

na margem direita do Rio Negro, leva-se em torno de 40 minutos. Segue um trecho de 85 Km pela estrada AM-070 até a cidade de Manacapuru, e de seu porto leva-se em média 6 horas de navegação para percorrer uma distância de 80 Km até Campinas, através de barcos de linha. Há ainda o trecho direto Manaus a Campinas de barco, levando-se em torno de 12 horas, considerando uma embarcação de médio porte, navegando pelo rio Solimões.

A localização de Campinas, bem como seu potencial de incidência solar, determinou sua escolha como local piloto para implantações de projetos referentes a sistemas de energia alternativa, como o Sistema Híbrido de Geração de Energia Elétrica, resultante da interação dos sistemas solar e diesel.

Campinas possui 1010 habitantes na Vila e em torno de 1000 habitantes distribuídos em seus arredores. Na Vila estão distribuídos 126 imóveis, dos quais 106 residenciais, sendo 98 consumidores de Energia Elétrica [2].

A. Características do suprimento de energia

Vila Campinas é atendida por uma Usina Termoelétrica à diesel (UTE Campinas) com capacidade instalada de 96 kw, operada pela concessionária de energia do Estado (CEAM), com combustível subsidiado pela Conta Comum de Combustível (CCC). A implantação do sistema híbrido solar-diesel na Vila é resultado de um trabalho de cooperação técnica do CEPEL e do Departamento de Energia dos Estados Unidos, através do Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL), que tornou Vila Campinas uma estação experimental, monitorada via satélite pela empresa americana. O sistema foi dimensionado para atender a carga de Vila Campinas no horário de 6:00 às 24:00h. Durante o dia o sistema solar alimenta diretamente a carga da Vila, através dos painéis fotovoltaicos passando pelo inversor(DC/AC). Quando a geração de energia dos painéis for superior à carga exigida, estes passam a carregar também o banco de baterias. Quando acontece uma geração excedente de energia, ou seja, a geração do sistema solar é superior à demanda da Vila e o banco de baterias já está carregado, o inversor autoregula sua velocidade e conseqüentemente a tensão de saída, e o excedente de geração é injetado na rede sem afetar a estabilidade do sistema. Durante a noite o banco de baterias alimenta a Vila até que este chegue a descarregar 40% de seu potencial, quando então entra o grupo gerador. O novo sistema permitiu um aumento no horário de fornecimento de energia, que antes do novo sistema era das 18:00 às 24:00h, e um aumento no número de consumidores atendidos de 72 para 98.

B. Características da Carga

O consumo de Vila Campinas é caracterizado pela predominância do setor residencial, o que influencia fortemente o perfil da curva de carga.

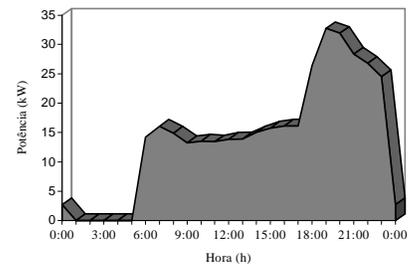


Fig. 1. Curva de Carga de Campinas(Agosto97/CEPEL).

Para melhor compreensão deste perfil é interessante ressaltar detalhes de consumo da população, tais como, 37,37% do consumo é voltado para iluminação e 45,11% para produção de frio (freezers e geladeiras). Dentre os eletrodomésticos de maior difusão por domicílio está o ventilador, com índice de 0,63, vindo a seguir o rádio com 0,37, freezer e geladeira com 0,32, e o televisor com 0,27. Por estar Vila Campinas localizada numa área pouco desmatada é comum a presença de grande quantidade de mosquitos no entardecer, o que levam os moradores a fazerem uso do ventilador nesse horário, conforme demonstra a curva da fig. 2.

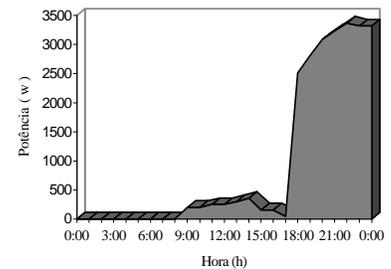


Fig. 2. Curva de carga/ ventiladores de Campinas.

III. ANÁLISE ECONÔMICA DOS SISTEMAS

Considerando três possibilidades de fornecimento de energia elétrica para Vila Campinas, quais sejam, diesel, solar, e híbrido solar-diesel, foi feita uma análise econômica, com considerações técnicas de operação, e uma análise comparativa dos três investimentos. O método adotado para análise comparativa dos investimentos foi o método exato do custo anual equivalente(CAE), por ser uma alternativa mais esclarecedora, tendo em vista que os projetos possuem vidas úteis diferentes[3], neste método o custo inicial é transformado em equivalentes anuais uniformes ao longo da vida do projeto, feito isso compara-se os custos totais equivalentes.

A. Sistema diesel

Neste caso considerou-se o grupo gerador operando 18 horas diárias. O consumo do motor foi obtido usando as curvas de taxas de consumo de combustível[4], a partir do valor de HR e do fator de carga calculado do motor.

TABELA I
Características dos Motores

Potência	48KW/53KVA
Rendimento (η)	39%
Fator de Potência (fp)	0,8
Vida útil	30.000 horas
Custo unitário grupo gerador (incluído imposto e frete)	\$ 30.520,00

Fonte: STEMAC[5].

TABELA II
Parâmetros Utilizados para Análise no Sistema Diesel

Custo de manutenção	2% do inv. inicial
Custos Fixos	2% do inv. inicial
Fator de Carga (FC)	32/48 = 0,66
Consumo Específico(m_c)	7,13 kg/h[HR .P/PCI]
PCI	42738 kj/kwh
Consumo de óleo	46844 l. diesel/ano
Custo do óleo (na bomba)	\$ 0,403/l
Custo do óleo (no local)	\$ 0,3695/l
Conta de óleo	\$17.308,00/ano
Tarifa	\$0,115/kwh
Receita anual	\$24.178,00
Depreciação	\$5.494,00/ano

Fonte: Elaboração própria

Obs: Para 18 horas de funcionamento diário o motor opera 6570 horas/ano. Os custos relativos ao óleo lubrificante estão incluídos nos custos de manutenção.

Depreciação (método linear) = $(P-L)/N = (\$61040 - \$6104)/10 = \$5.494,00/\text{ano}$ (considerado 2 grupos geradores para o sistema diesel).

1) Cálculo CAE(diesel)

$$CAE = 61040 / (P/A,5,10) + 1064 + 54936 \times (P/F,5,10) / (P/A,5,10) + 54936 \times (P/F,5,20) / (P/A,5,20) - 6104 \times 54936 \times (P/F,5,30) / (P/A,5,30)$$

$$CAE = \$7.904,70 + \$1.064,00 + \$4.367,42 + \$1.661,48 - \$91,88$$

$$CAE = \$14.905,72$$

C. Sistema solar

Marca: MSX64 SOLAREX.

Características: 20 conjuntos de 40 módulos, totalizando 800 painéis de 50Wp a 1000w/ m² de radiação e 25°C.

Potência: 51,2 KW de pico.

Banco de baterias: chumbo-ácida de 200Ah/12volts, rendimento(η_b) de 95%, profundidade de descarga de 60%.

Potência do Inversor: 50 KW, 240Vcc/220Vca, rendimento(η_i) de 90%.

Devido a incidência solar ser praticamente constante, o sistema fotovoltaico foi projetado de modo a permitir um ajuste anual de inclinação de 5°, 10° e 15°.

O inversor é ligado à saída do sistema de corrente contínua, constituído do banco de baterias, que fornece 200 KWh em um período de descarga médio de 24 horas, e dos módulos de painéis solares, e entrega uma tensão de 240 volts AC para a subestação. Esta, através dos transformadores elevadores de tensão, joga para a rede de distribuição uma tensão de 13800 volts AC.

O sistema é capaz de alimentar a carga durante o dia, diretamente dos módulos PV e a noite através do banco de bateria. Admite-se que a distribuição da radiação solar na Vila permite o atendimento de energia durante nove meses do ano, e nos demais meses de menores níveis de irradiação solar o número de horas diárias será reduzido de 18 para 6 horas de fornecimento.

TABELA III
Parâmetros Utilizados para Análise no Sistema Solar

Custo dos Painéis	\$ 302.400,00
Custo do Inversor	\$ 64.800,00
Custo Controlador de Carga	\$ 16.200,00
Custo do Banco de Baterias	\$ 75.000,00
Vida Útil	30 anos(exc. baterias)
Investimento Inicial	\$ 428.800,00
Custos Fixos	1% do inv. inicial
Custos de Manutenção	0,0
Horas de operação anual	5418 horas
Receita anual	\$ 19.939,00
Depreciação:	
1. Do Sistema	\$10.614,00/ano
2. Do Banco de Baterias	\$9.642,00/ano

Fonte dos Preços: Amazonas Energia Solar [6]

Obs.: Não foram considerados os custos de obras civis, devido a similaridade para quaisquer dos investimentos. Da mesma forma para os materiais de interligação e suporte. Admitiu-se o mesmo banco de baterias dimensionado para o sistema híbrido, porém há de se considerar uma alteração, em vista de que o mesmo operará por um período maior para suprir o sistema no período noturno.

1) Cálculo CAE(Solar)

$$CAE = 428.800 / (P/A,5,30) + 4.606 + 67.500 \times (P/F,5,7) / (P/A,5,7) + 67.500 \times (P/F,5,14) / (P/A,5,14) + 67.500 \times (P/F,5,21) / (P/A,5,21) - 42.880 \times (P/F,5,30) / (P/A,5,30)$$

$$CAE = \$27.894,87 + \$4.606,00 + \$ 8291,10 + \$3.444,21 + \$1.889,53 - \$6.224,46$$

$$CAE = \$ 39.901,25$$

D. Sistema híbrido solar-diesel

Sistema Solar + Sistema Diesel com redução de um grupo gerador.

$$\text{Total do Investimento Inicial} = \$428.800,00(\text{Solar}) + \$30.520,00(\text{Grupo Gerador}) = \$459.320,00$$

TABELA IV
Parâmetros Utilizados para Análise no Sistema Híbrido

Investimento Inicial	\$ 459.320,00
Custos Fixos	1% do investimento inicial
Custos de Manutenção	\$ 610,00 (gerador)
Conta do óleo	\$ 5.769,00
Receita Anual	\$ 24.178,00
Depreciação:	
1. Do Sistema (s/ bateria)	\$10.614,00/ano
2. Do Banco de Bateria	\$ 9.642,00/ano
3. Do Grupo Gerador	\$1.831,00/ano

Fonte: Elaboração própria.

1) Cálculo CAE(Híbrido)

$$CAE = 459.320 / (P/A,5,30) + 8.881 + 67.500 \times (P/F,5,7) / (P/A,5,7) + 27.468 \times (P/F,5,15) / (P/A,5,15) + 67.500 \times (P/F,5,14) / (P/A,5,14) + 67.500 \times (P/F,5,21) / (P/A,5,21) - 55.428 \times (P/F,5,30) / (P/A,5,30)$$

$$CAE = \$29.880,30 + \$8.881,00 + \$ 8.291,10 + \$325,24 + \$3.444,21 + \$1.889,53 - \$8.045,93$$

$$CAE = \$ 44.665,45$$

IV. CONSIDERAÇÕES

Dentre as alternativas analisadas, para as condições de operação consideradas neste trabalho, observou-se os seguintes custos anuais equivalentes:

Sistema	CAE (\$)	Variação
Diesel	14.905,00	100 (base)
Solar	39.925,00	268
Híbrido	44.665,00	299

Evidencia-se, pelos valores acima, que o sistema diesel, do ponto de vista econômico, ainda é a melhor alternativa das três estudadas.

Ocorre que, para a região amazônica a questão não pode ser somente analisada tão somente do ponto de vista econômico, em face das suas peculiaridades, tais como as questões sociais e ambientais provenientes das tecnologias renováveis onde, fatores econômicos são importantes mas não deveriam se sobrepor aos valores social e ambiental das tecnologias de energia renovável. Neste caso, o empreendimento é tão satisfatório para as necessidades básicas da faixa mais pobre da população, que o critério humanitário deveria dar lugar ao critério econômico[7]. É o caso de Vila Campinas. Considerando os benefícios sociais e de auto-sustentabilidade do sistema na comunidade, o seu uso torna-se uma alternativa viável para as localidades isoladas da Amazônia. No entanto, é necessário a difusão desta tecnologia para criar uma cultura desta fonte e aumentar o poder de influência sobre aqueles que gerenciam, decidem e financiam os recursos necessários para sua implantação. Faz-se necessário também instituir uma estratégia para alterar os padrões de consumo e propiciar a efetiva implementação de medidas de uso mais eficiente de energia[8], para que essa energia possa gerar atividades econômicas. Não se justifica por exemplo, que

89,8% da iluminação seja do tipo incandescente(90% de 60W de potência). Essas questões são fundamentais tendo em vista, principalmente, os custos do investimento.

O custo unitário da energia elétrica obtida de sistemas fotovoltaicos calculado pelas sistemáticas propostas ainda é bastante elevado (da ordem de dez vezes), em relação ao custo da energia elétrica fornecida, por exemplo, a usuários a nível residencial conectados à rede elétrica convencional. O forte investimento inicial em capital torna a disseminação do uso destes sistemas muito difícil, principalmente para os usuários de baixa renda em locais isolados, onde o uso desta alternativa seria mais adequada [9].

Porém, mais grave do que os custos acarretados por um sistema alternativo de energia são as conseqüências da falta de energia elétrica numa sociedade, a existência de assimetrias sociais nas condições e qualidade de vida, tais como: a permanência da pobreza, a falta de oportunidade para o crescimento, o fluxo migratório para as grandes cidades e a descrença desta sociedade local no futuro. Os estilos de vida urbano são realmente adotados como o modo de vida futuro. As grandes cidades são caracterizadas pelas profundas disparidades de renda, condição de vida e acesso aos serviços básicos entre os grupos sociais que conseguem capturar os benefícios econômicos do crescimento rápido, e aqueles que não conseguem [10], que passam à marginalidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à profª Rosana Parente(Universidade do Amazonas) pela valiosa colaboração na aquisição dos dados deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Girod. *Diagnosis of energy systems in developing countries*, Office for official publications of the European Communities, Luxembourg, 1991.
- [2] A. A. Matos. "Projeto Vila Campinas", Convênio CEAM/CEPEL/ELETRORÁS/NREL. Manaus/AM, 1995.
- [3] S. Kaplan. *Energy economics*, McGraw-Hill Book Company, 1983.
- [4] *Revista Power*. MacGraw Hill, Nova York, 1983.
- [5] STEMAC S/A. Consulta ao fabricante, Porto Alegre/RS, 1997.
- [6] Amazonas Energia Solar Ltda. Consulta de preço, Manaus/AM, 1997.
- [7] S. Tyler. "Household energy use and environment in Asian cities: An introduction", *Energy*, Vol. 19, No. 5, pp. 502-508, 1994.
- [8] G. M. Jannuzzi et al. "Programas de administração da demanda para o setor residencial brasileiro: oportunidades, custos e barreiras", SNPTEE, 1995.
- [9] J. M. V. Martins. "A influência da confiabilidade de sistemas de conversão fotovoltaicas nos custos da energia elétrica", VII CBE e II Seminário Latino Americano de Energia, Vol. IV, Rio de Janeiro/RJ, 1996.

[10] H. M. Rady. "Renewable energy in rural areas of developing countries: some recommendations for a sustainable strategy", Energy Policy, junho, 1992.