



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

**Uso de Fontes Alternativas de Energia no
Atendimento a Comunidades Isoladas: estudo
da viabilidade técnico-econômica**

Eucimar Augustinhak

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS - CCS

DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO

Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos
Setores Energético e Mineral

Brasília, março de 2017.



Eucimar Augustinhak

**Uso de Fontes Alternativas de Energia no Atendimento a
Comunidades Isoladas: estudo da viabilidade técnico-
econômica**

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral, apresentada ao programa de pós-graduação lato sensu em Administração da PUC-Rio como requisito parcial para a obtenção do título de especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral.

Orientador: Rodrigo Flora Calili

Brasília, março de 2017.

“Os nossos pais amam-nos porque somos seus filhos, é um fato inalterável. Nos momentos de sucesso, isso pode parecer irrelevante, mas nas ocasiões de fracasso, oferecem um consolo e uma segurança que não se encontram em qualquer outro lugar. ”

Bertrand Russell

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me deu energia para concluir este trabalho.

Agradeço aos meus pais que me incentivaram durante os meses em que durou o curso.

Ao MME por essa tão importante iniciativa concedida ao seu corpo técnico setorial.

Ao meu orientador Rodrigo Calili pelos ensinamentos, discussões e explicações que foram essenciais para a conclusão do trabalho.

Enfim, agradeço a todos os professores da PUC-Rio que ministraram essa pós-graduação e compartilharam comigo o conhecimento deles.

Resumo

Augustinhak, Eucimar. Flora Calili, Rodrigo (Orientador). Uso de Fontes Alternativas de Energia no Atendimento a Comunidades Isoladas: estudo da viabilidade técnico-econômica. Brasília, 2017. 34 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral – Departamento de Administração. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A inserção de energia elétrica nas comunidades isoladas eletricamente permite a essas comunidades um grande avanço no seu desenvolvimento socioeconômico. Este trabalho buscou encontrar, dentre as fontes existentes no mercado, formas técnico-economicamente viáveis no fornecimento de vilarejos. Foi proposta a implantação de sistemas alimentados por fontes alternativas, a diesel e sistema híbrido em uma residência pertencente a uma comunidade isolada e realizado um estudo de viabilidade para determinar qual o sistema é mais viável levando em consideração as características geográficas e de consumo desta residência. Dentre os sistemas de geração de energia abordados, o sistema híbrido fotovoltaico-diesel-solar se mostrou o mais vantajoso nas comunidades isoladas devido ao menor custo e a melhor confiabilidade.

Palavras-chave

Fontes alternativas; Comunidades isoladas; Sistema híbrido; Energia elétrica; Sustentabilidade.

Abstract

Augustinhak, Eucimar. Flora Calili, Rodrigo (Adviser). Use of Alternative Energy Sources to supply Isolated Communities: a study of technical-economic feasibility. Brasília, 2017. 34 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral – Departamento de Administração. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The adoption of electric energy in isolated communities allows these communities a great advance in their socioeconomic development. This work sought to find, from the sources in the market, technical economically viable ways in the supply of villages. It was proposed the implementation of systems powered by alternative sources, diesel and hybrid system in a residence belonging to an isolated community and carried out a feasibility study to determine which system is more feasible taking into account the geographical and consumption characteristics of this residence. Among the energy generation systems addressed, the hybrid photovoltaic-diesel-solar system proved to be the most advantageous in isolated communities due to the lower cost and better reliability.

Key-words

Alternative sources; Isolated communities; Hybrid system; Electric power; Sustainability.

Sumário

1. O Problema	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivo Final	2
1.3. Delimitação do Estudo	2
1.4. Relevância do Estudo	3
1.5. Organização do trabalho	3
2. Referencial Teórico	4
2.1. O Índice de Desenvolvimento Humano e o consumo de energia	4
2.1.1. Uso de Fontes Alternativas no Atendimento a Comunidades Isoladas	7
2.2. Comunidades isoladas no Brasil	12
2.3. Obras no “Programa Luz Para Todos”	13
3. Metodologia	18
3.1. Tipos de Pesquisa	18
3.1.1. Quanto aos fins	18
3.1.2. Quanto aos meios	18
3.2. Universo e Amostra	18
3.3. Seleção dos Sujeitos	19
3.4. O procedimento e o instrumento de Coleta de Dados	19
3.5. Tratamento de Dados	19
3.6. Limitações do Estudo	19
4. Resultados	20
4.1. Descrição da carga	20
4.2. Alternativas de Geração	23
4.2.1. Sistema Fotovoltaico	23
4.2.2. Sistema Movido a Diesel	24
4.2.3. Sistema Híbrido Fotovoltaico-Diesel-Solar	25
4.3. Análise dos Resultados	26

5. Conclusão	27
6. Bibliografia	29

Lista de figuras

Figura 1: Expectativa de vida, mortalidade infantil, alfabetização e taxa de fertilização total em função da energia consumida per capita	5
Figura 2: Uso de energia na evolução humana nos diferentes setores da economia	6
Figura 3: Consumo individual médio de eletricidade por país	7
Figura 4: Radiação solar média anual no território brasileiro	10
Figura 5: Custo da energia solar	11

Lista de Tabelas

Tabela 1: Matriz de produção de energia elétrica nos sistemas isolados	7
Tabela 2: Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil	8
Tabela 3: Consumo dos equipamentos elétricos	21
Tabela 4: Consumo horário-diário da residência	21
Tabela 5: Consumo instantâneo estimado da residência	22

1. O Problema

A energia elétrica é um grande vetor de desenvolvimento econômico e social. Com acesso à energia elétrica, as populações das comunidades isoladas adquirem um grande salto no padrão da qualidade de vida e no desenvolvimento socioeconômico.

A energia elétrica facilita que as pessoas desenvolvam uma atividade econômica, produzam bens, os comercializem e obtenham uma renda com a qual possam adquirir itens básicos para sua sobrevivência.

Todos os anos, bilhões de reais são gastos em equipamentos e combustíveis derivados de petróleo necessários para a realização do fornecimento de energia elétrica às comunidades que vivem em isolamento. Essa conta incide sobre todos os consumidores de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) através da cobrança da conta de consumo de combustível (CCC). Encontrar métodos e fontes alternativas para o fornecimento dessas comunidades trará grandes benefícios socioeconômicos para o Brasil.

1.1. Introdução

No Brasil, segundo dados do programa “Luz Para Todos” (LpT), mais de um milhão de pessoas não têm acesso à energia elétrica, em sua maioria, essas pessoas vivem em comunidades rurais e isoladas.

A inclusão energética de comunidades isoladas enfrenta muitas barreiras devido aos altos custos envolvidos para suprir essas áreas. Este

trabalho busca elencar os pontos mais importantes para suprir essas carências com base na literatura existente sobre este assunto.

1.2. Objetivo Final

O objetivo deste trabalho é analisar as formas técnico-economicamente viáveis de fornecimento de energia elétrica a comunidades que vivem isoladas no Brasil, fazendo uma pesquisa dos métodos existentes de fornecimento e fazer comparações de custos de implantação entre os diferentes sistemas disponíveis no mercado para encontrar os métodos mais eficientes.

Dentre os objetivos que serão abordados neste trabalho serão elencados os benefícios que o fornecimento de energia elétrica pode trazer às comunidades isoladas eletricamente, evidenciando os benefícios econômicos ou sociais.

1.3. Delimitação do Estudo

Para fins de cálculos de viabilidade, o estudo adotará uma comunidade com características gerais, e no quesito de comparação de preços, usará preços do varejo tanto para combustíveis como para equipamentos.

Os dados referentes à implantação e manutenção dos equipamentos utilizados na geração de energia nas comunidades isoladas atendidas pelo programa Luz Para Todos são muito dispersos e apresentam muitas diferenças ocasionadas principalmente pelas diferenças geográficas entre essas comunidades. Essas diferenças implicam em custos muito variados

resultantes dos custos de logística, que aumentam à medida que essas comunidades são mais distantes dos aglomerados urbanos.

Para fins de estudo de viabilidade, esse trabalho adotará uma comunidade isolada, na qual fará estudos que apontarão a alternativa mais viável para o fornecimento de energia elétrica.

1.4. Relevância do Estudo

O consumo de energia elétrica é muito importante para o desenvolvimento da sociedade humana no que tange o controle das adversidades ambientais e a adaptação aos diferentes tipos de clima existentes, por exemplo, a adoção de equipamentos de ar-condicionado e aquecedores possibilitou que pessoas habitem áreas antes consideradas inóspitas até o advento de tais equipamentos. No mundo contemporâneo, a pesquisa, a inovação e o desenvolvimento de novos recursos energéticos tem sido fundamental à agricultura, mobilidade e tecnologia da informação, que são os pilares para o desenvolvimento de uma sociedade moderna.

1.5. Organização do trabalho

No Capítulo 1, foram abordados os objetivos do trabalho, a delimitação e a relevância do estudo. No Capítulo 2, serão abordados os benefícios da introdução de energia elétrica em comunidades isoladas eletricamente e os programas governamentais para inserção de energia nestas comunidades. No Capítulo 3 será especificada a metodologia, o tipo de pesquisa e o tratamento dos dados obtidos no trabalho, e os critérios de seleção da família objeto do estudo. No Capítulo 4 serão

apresentadas as alternativas para o sistema de fornecimento de energia para a família objeto do estudo, os resultados e a análise destes. No Capítulo 5, a conclusão do trabalho será apresentada.

2. Referencial Teórico

2.1. O Índice de Desenvolvimento Humano e o consumo de energia

O nível de desenvolvimento de uma sociedade é medido através do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), este índice classifica os países em desenvolvidos (IDH muito alto), países em desenvolvimento (IDH alto e médio) e países subdesenvolvidos (IDH baixo). O índice leva em consideração dados de expectativa de vida ao nascer (esperança de vida), educação e PIB *per capita*.

Pode-se avaliar o nível de desenvolvimento humano de uma sociedade também através do nível de consumo de energia. Na figura 1, pode-se observar os gráficos que relacionam o nível de consumo de energia de uma sociedade com os dados que compõem o IDH. Nota-se que quanto menor o consumo de energia *per capita*, menor é o nível de expectativa de vida, e maiores são os níveis de analfabetismo, de mortalidade infantil e a taxa de fertilidade total.

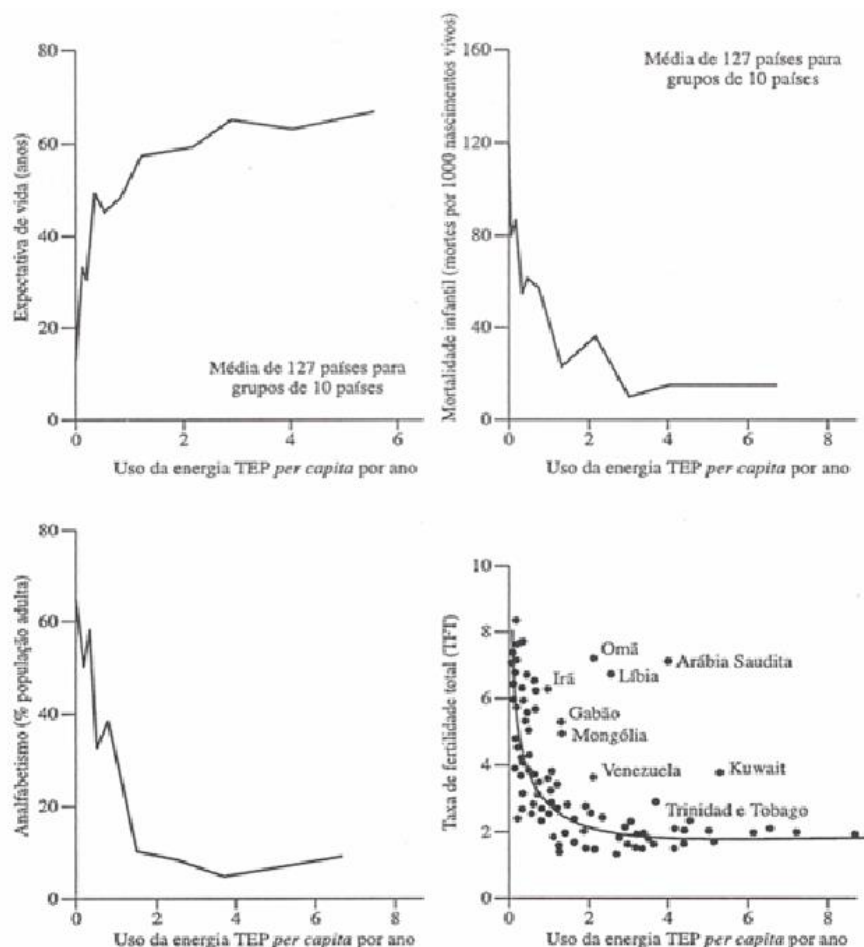


Figura 1: Expectativa de vida, mortalidade infantil, alfabetização e taxa de fertilização total em função da energia consumida per capita
 Fonte: Universidade de São Paulo, 2006

Em regiões onde se observa o IDH baixo também há uma grande carência elétrica. Com a energia elétrica, estas populações têm um acesso maior à informação, melhores condições de vida, por exemplo, elas têm condições de construir um poço e instalar uma moto bomba, melhorando as condições sanitárias, podendo usar essa água também para irrigação, aumentando, assim, o nível de produtividade agrícola. A eletricidade possibilita também o uso de máquinas elétricas para produzir alimentos para os animais. A energia elétrica também torna possível a instalação de escolas e centros de aprendizagem rurais que levam conhecimento e informação às comunidades isoladas. Portanto, pode-se

concluir que a introdução de energia elétrica em uma sociedade provoca grandes avanços socioeconômicos. No decorrer da evolução da humanidade, nota-se que o consumo de energia foi aumentando, conforme apresentado na figura 2.

Evolução do consumo de energia

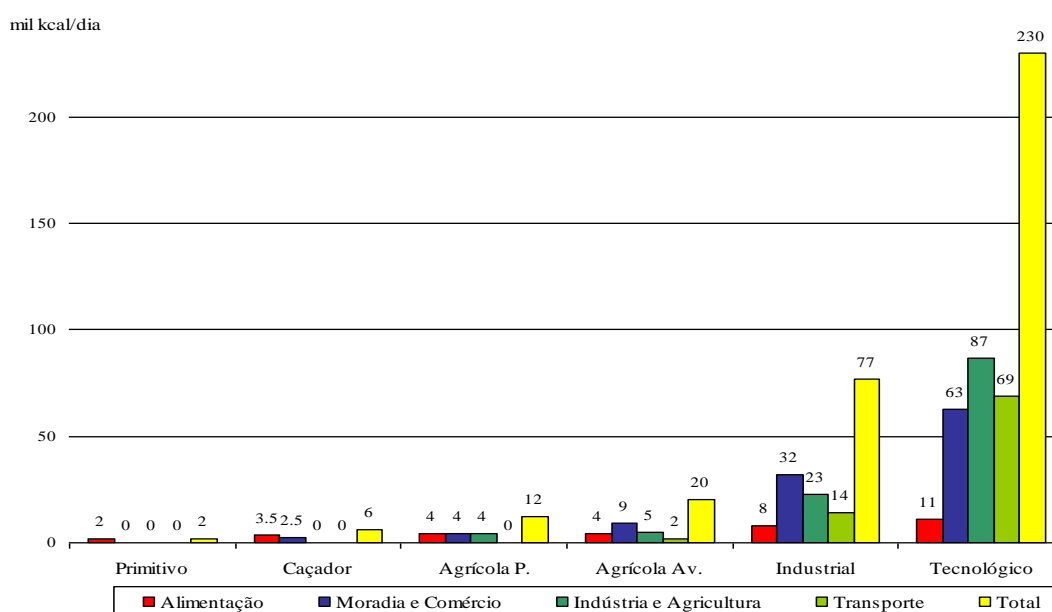


Figura 2: Uso de energia na evolução humana nos diferentes setores da economia
Fonte: Universidade de São Paulo, 2006

Analisando o consumo *per capita* de energia mostrado na figura 3, pode-se concluir quais são as regiões mais desenvolvidas do mundo. As regiões mais escuras do mapa representam os países que possuem um consumo de energia *per capita* mais elevado e são justamente os países mais desenvolvidos do mundo. As regiões mais claras representam os países que consomem menos energia *per capita* e também representam os países com menor nível de desenvolvimento.

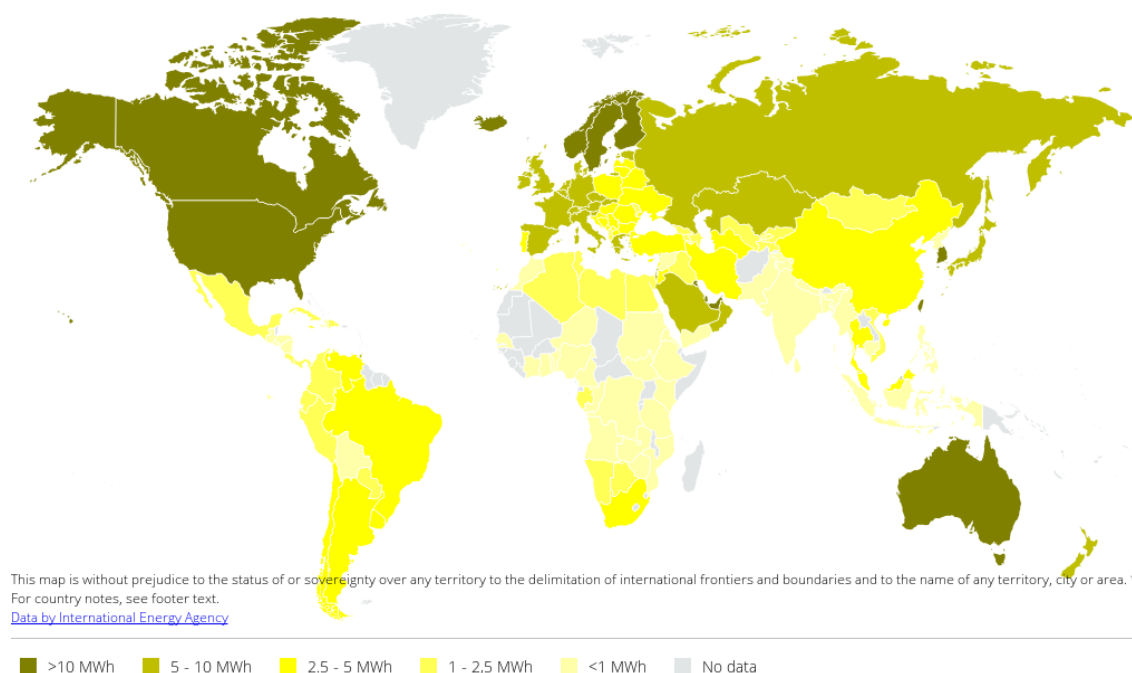


Figura 3: Consumo individual médio de eletricidade por país

Fonte: IEA, 2014

2.1.1. Uso de Fontes Alternativas no Atendimento a Comunidades Isoladas

Na tabela abaixo, pode-se perceber como os sistemas isolados são dependentes dos combustíveis derivados de petróleo.

Fonte	Valor mensal			Acumulado 12 meses		
	Dez/16 (GWh)	Evolução mensal (Dez/16 / Nov/16)	Evolução anual (Dez/16 / Dez/15)	Jan/15-Dez/15 (GWh)	Jan/16-Dez/16 (GWh)	Evolução
Hidráulica	1	-1,2%	5,8%	745	13	-98,3%
Térmica	147	-23,6%	-40,4%	5.216	2.695	-48,3%
Gás	4	-	-2,4%	1.655	51	-96,9%
Petróleo *	142	-25,9%	-41,1%	3.561	2.644	-25,8%
TOTAL	148	-23,5%	-40,2%	5.962	2.707	-54,6%

Tabela 1: Matriz de produção de energia elétrica nos sistemas isolados

Fonte: MME, 2017.

Considerando os altos custos para energização dos sistemas isolados, é necessário encontrar outras formas de produção de energia elétrica que sejam viáveis economicamente, menos poluentes que os

derivados de petróleo e que possam substituir os sistemas já existentes de geradores a diesel e também serem usados nas instalações de comunidades que continuam sem acesso à energia elétrica.

Por muitos anos a matriz de energia elétrica brasileira foi dominada por fontes hidráulicas e por combustíveis derivados do petróleo. Conforme se observa na tabela 2, o ritmo de crescimento de implantação de novas usinas de derivados de petróleo, atualmente, se mantém quase estável. Enquanto a implantação de novas usinas de fontes alternativas (eólica e solar) se encontra em um ritmo bastante acelerado.

Fonte	Jan/2016	Jan/2017			Evolução da Capacidade Instalada Jan/2017 - Jan/2016
	Capacidade Instalada (MW)	Nº Usinas	Capacidade Instalada (MW)	% Capacidade Instalada	
Hidráulica	92.100	1.279	98.061	64,6%	6,5%
UHE	86.822	220	92.605	61,0%	6,7%
PCH + CGH	5.278	1.050	5.452	3,6%	3,3%
CGH GD	-	9	4	<0,1%	-
Térmica	41.595	3.025	43.301	28,5%	4,1%
Gás Natural	12.439	159	13.005	8,5%	4,6%
Biomassa	13.277	538	14.237	9,4%	7,2%
Petróleo	10.124	2.237	10.295	6,8%	1,7%
Carvão	3.612	23	3.613	2,4%	0,0%
Nuclear	1.990	2	1.990	1,3%	0,0%
Outros	153	30	150	0,1%	-1,8%
Térmica GD	-	36	11	<0,1%	-
Eólica	7.968	459	10.444	6,9%	31,1%
Eólica	7.968	414	10.444	6,9%	31,1%
Eólica GD	-	45	0,166	<0,1%	-
Solar	21	7.707	83	<0,1%	290,5%
Solar - Fotovoltaica	21	44	24	<0,1%	11,4%
Solar GD	-	7.663	60	<0,1%	-
Capacidade Total - Brasil	141.684	12.470	151.890	100,0%	7,2%

*Tabela 2: Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil
Fonte: MME, 2017*

O programa pioneiro de incentivo às fontes alternativas de energia no Brasil foi o Proálcool, que surgiu em meados da década de 1970 e incentivou o uso de biomassa de cana na matriz energética brasileira. A

intensificação pelo uso das fontes alternativas de energia elétrica deve-se em parte pela implantação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), programa do Governo Federal criado em 26 de abril de 2002 pela Lei 10.438, que realizou leilões somente com fontes alternativas de energia, dando assim um impulso na adoção dessas tecnologias no Brasil, combinado com a desoneração de impostos e descontos na tarifa de uso do sistema de transmissão (TUST) das usinas eólicas. Outros fatores que contribuíram com a disseminação dessas fontes foram a crise econômica de 2008, que barateou em muito o custo desses equipamentos, também a geografia do Brasil, que possui uma grande extensão de litoral onde se venta muito, ambiente ideal para a instalação de aerogeradores. Embora o território brasileiro possua um alto nível de irradiação solar, conforme demonstrado na figura 4, o que propicia a ampla instalação de painéis fotovoltaicos, o uso deste tipo de energia ainda é pouco difundido no país.

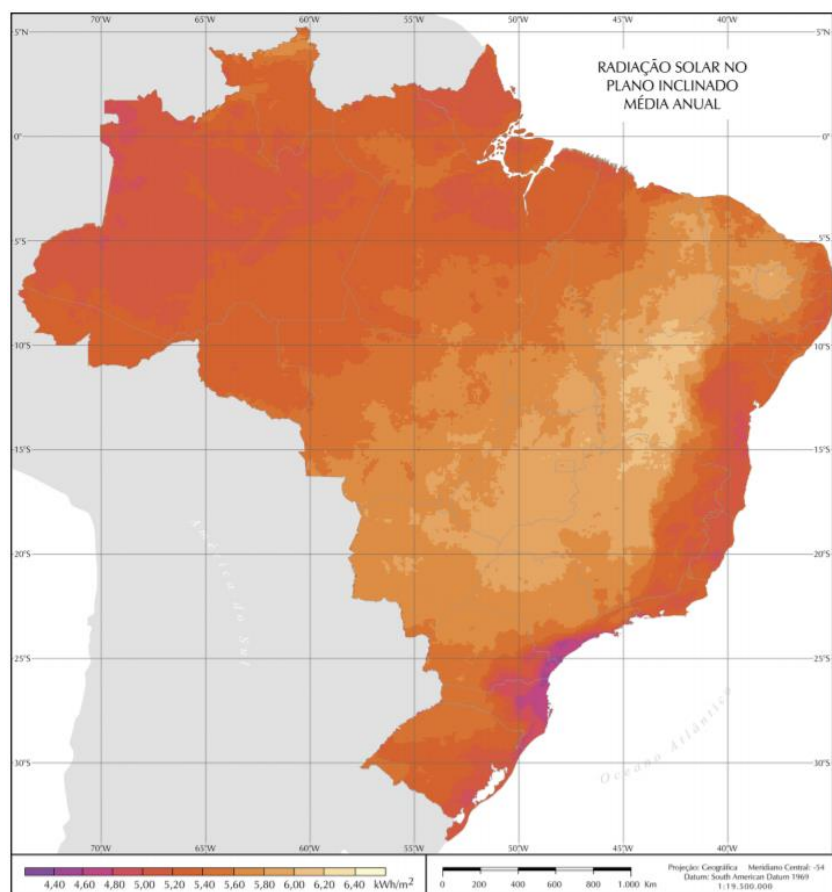


Figura 4: Radiação solar média anual no território brasileiro
Fonte: Atlas brasileiro de energia solar – 2006

O investimento para implantação (*CAPEX*) de geradores movidos a diesel é menor que o investimento para os sistemas movidos com fontes alternativas. No entanto, a manutenção dos equipamentos e outras despesas operacionais (*OPEX*) é muito menor nos sistemas de fontes alternativas.

As fontes alternativas de energia elétrica estão enfrentando uma redução de custos de equipamentos no Brasil, e tudo indica que nos próximos anos o *CAPEX* dessas fontes será competitivo em relação aos derivados de petróleo. Pode-se observar o declínio do valor da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos na figura 5.

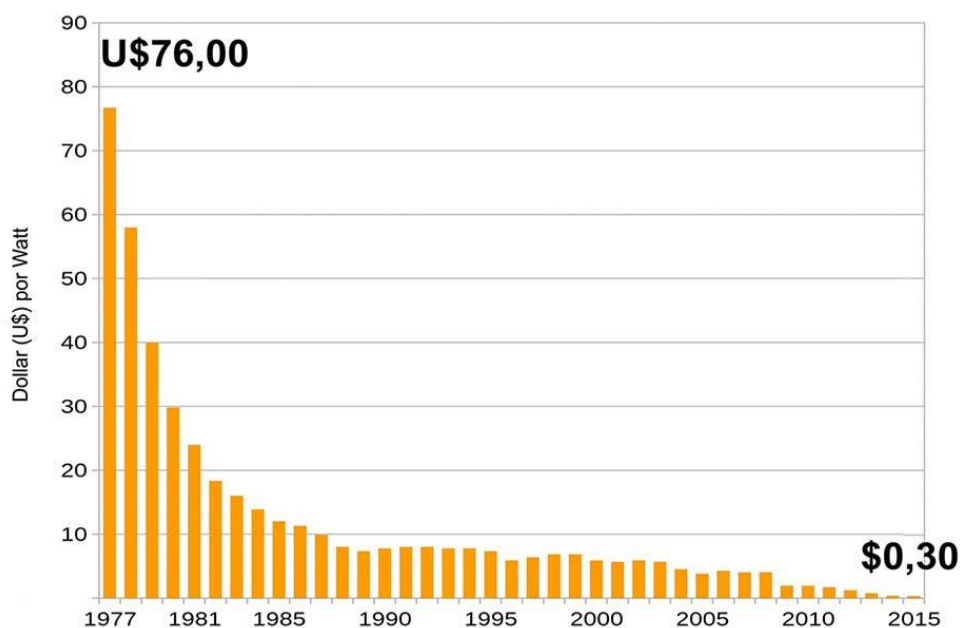


Figura 5: Custo da energia solar (US\$/W) (Fonte: Bloomberg)

A redução do custo da energia de fontes alternativas deve contribuir para a disseminação destas em comunidades isoladas. Cada vez mais, a implantação de fontes alternativas de energia em povoados isolados tem se mostrado como uma alternativa bastante viável e promissora em termos econômico e ambiental.

Devido as fontes alternativas de energia utilizarem uma fonte de energia primária renovável, essas fontes não poluem o meio-ambiente. Os habitantes das comunidades isoladas geralmente possuem baixo nível de instrução e a simplicidade da manutenção desses sistemas facilita muito o dia-a-dia dessas comunidades. Porém, mesmo sendo esses sistemas simples de operar, devido ao baixo nível de escolaridade nessas comunidades, faz-se necessário um acompanhamento técnico para otimizar o uso desses equipamentos de maneira eficiente e adequada.

As comunidades isoladas geralmente são pequenas aglomerações de pessoas, o que demanda um baixo consumo de energia, assim as dimensões dos equipamentos elétricos utilizados podem ser reduzidas, causando um menor impacto ambiental. Também não é necessário abrir imensas clareiras na vegetação para a instalação de linhas de distribuição, em caso de comunidades isolados no Norte do país.

2.2. Comunidades isoladas no Brasil

Cartaxo e Jannuzzi (2000), abordam um estudo de carga e demanda de uma comunidade isolada na Amazônia, a fim de definir a viabilidade de um sistema de fornecimento de energia elétrica híbrido solar-diesel. Utilizando a análise técnica dos dados da curva de demanda e da incidência solar da comunidade isolada, os autores determinaram a característica de consumo de energia elétrica da comunidade ao longo do dia e o nível de insolação anual, e pôde-se definir o melhor arranjo do sistema híbrido de geração de energia para a comunidade objeto do estudo.

Rosário et al. (2005), ressalta a importância da inclusão energética como catalisadora do desenvolvimento socioeconômico em pequenas comunidades isoladas da Amazônia, partindo de experiências usando fontes alternativas de energia conduzidas por pesquisadores da Universidade de Brasília, tendo como alvo uma associação de extrativistas, no Assentamento Agroextrativista do Maracá (PAE Maracá), no sul do Estado do Amapá. O trabalho apresentou um levantamento dos programas governamentais de inclusão energética nos âmbitos estaduais

e federal e demonstrou a evolução que eles proporcionaram no atendimento às comunidades isoladas.

2.3. Obras no “Programa Luz Para Todos”

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME), o Programa Luz Para Todos verificou que as comunidades isoladas eletricamente no País predominavam em áreas com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) mais baixo e com domicílios de baixa renda. Aproximadamente 90% dos domicílios sem acesso à energia elétrica possuem renda inferior a três salários mínimos e 84% habitam municípios que têm IDH abaixo da média brasileira.

Anteriormente ao lançamento do Programa Luz Para Todos, em 1994, o governo federal lançou o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM). O objetivo do PRODEEM era de impulsionar o uso de fontes alternativas de energia (eólica, de biomassa, solar) em regiões distantes das linhas de distribuição/alimentação. Um dos critérios de definição de prioridade para ser atendido no PRODEEM foi o IDH-M nos municípios, cidades de menor índice de desenvolvimento eram priorizadas, o que evidencia a importância deste índice na escolha de comunidades a serem contempladas com projetos de geração de energia em sistemas isolados.

A operação do Programa Luz Para Todos é realizada pelo Comitê Gestor Nacional de Universalização (CGN), em parceria com as Coordenações Regionais e dos Comitês Gestores Estaduais (CGEs). O MME estabelece as políticas e as ações para o Programa Luz Para

Todos, além de fixar metas e prazos para os Estados implementarem as ligações. O Ministério também é o responsável, com o auxílio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Eletrobrás, por assinar o Termo de Compromisso com os agentes executores. Este termo define as responsabilidades das partes envolvidas quanto a recursos e metas anuais a serem atingidas, o MME também realiza a nomeação dos coordenadores de cada Comitê Gestor Estadual e os Coordenadores Regionais.

O MME recebe do CGE a relação dos pedidos de ligações que integram cada etapa do LpT a ser elaborado pelo agente executor, é emitido o parecer que autoriza a Eletrobrás a fazer e assinar o contrato com o agente executor, assim como os aditivos, o MME fica responsável por acompanhar a execução físico-financeira das obras.

A Coordenação do CGN é integrada por representantes do Ministério de Minas e Energia, da Eletrobrás, da ANEEL, e pelos presidentes da Eletronorte, de Furnas, da Chesf, da Eletrosul e dos Coordenadores Regionais.

O CGN tem como funções de fazer a solicitação, o recebimento e a avaliação de relatórios, e dados informativos fornecidos pelos Comitês Gestores Estaduais, analisar a problemática e fixar as soluções para dar continuidade ao LpT, mediando possíveis conflitos que possam impactar o andamento do cronograma do Programa, e fiscalizar o cumprimento das metas para a região e a execução financeira.

Os coordenadores regionais são representantes da Eletronorte, da Chesf, de Furnas e da Eletrosul. Eles têm a função de atuar para prover de estrutura logística e física os CGEs nas regiões em que essas empresas operam: a) Estados do Norte (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins) mais o Estado do Maranhão são atendidos pela Eletronorte; b) Estados do Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe) são atendidos pela Chesf; c) Estados do Sudeste e Centro-Oeste (Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo) são atendidos por Furnas; d) Estados do Sul (Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina) mais o Estado do Mato Grosso do Sul, são atendidos pela Eletrosul. Os coordenadores regionais atuam com o objetivo de viabilizar a adoção das políticas do LpT, informando ao MME o estágio das ações através de relatórios gerenciais, promovem o apoio aos CGEs e realizam a contratação e treinamento dos agentes que participam do Programa de Eletrificação Rural.

Os Comitês Gestores Estaduais reúnem representantes do MME, que realiza a coordenação do Comitê, representantes do Governo Estadual, representantes da ANEEL, representantes das Associações Estaduais de Prefeituras, representantes das concessionárias, permissionárias e cooperativas de eletrificação rural de distribuição de energia, quando estas são os agentes executores do Programa. O CGE conta com nove membros titulares, incluindo o Coordenador.

A atribuição do CGE é de encaminhar ao Agente Executor responsável pela região, a lista de ligações que lhe foram apresentadas.

O CGE elabora os programas de obras, os classifica, de acordo com os critérios de prioridades, e define a quantidade de pedidos de energização que serão atendidos e registrados nas concessionárias, os projetos que forem aprovados são encaminhados ao MME. O CGE atua fiscalizando o cumprimento, por parte dos Agentes Executores, das metas estabelecidas pelo LpT, que devem atender, simultaneamente, as metas fixadas pela ANEEL e ao Termo de Compromisso firmado com o MME. O CGE também acompanha a execução física e financeira das obras, acompanhando o cumprimento das prioridades e as dificuldades verificadas durante a execução das obras, e realiza ações que possibilitem o uso produtivo e social da energia elétrica.

Os agentes executores são responsáveis por assinar o Termo de Compromisso com o MME, para execução do LpT. Os agentes identificam as comunidades, conforme os critérios de prioridade de atendimento, e elaboram o programa de obras que será encaminhado ao CGE. Depois, o programa de obras é repassado a Eletrobrás para análise orçamentária, técnica e financeira. Se o programa estiver em conformidade com as metas estabelecidas, os contratos de financiamento são firmados com a Eletrobrás. Os agentes executores devem informar mensalmente ao MME, a situação dos recursos repassados pelo Governo Federal e o nível de execução das obras.

É responsabilidade também dos agentes executores de realizar o programa de obras respeitando as prioridades estabelecidas pelo CGE, e encaminhar relatórios, sempre que for solicitado, ao MME, a Eletrobrás ou a Caixa Econômica Federal, quando esta for o órgão que financia as

obras. Os agentes executores devem prestar contas à Eletrobrás, da realização do cronograma físico-financeiro do programa de obras, para poderem obter a liberação de recursos, todos os domicílios atendidos pelo LpT devem ser identificados.

Os agentes executores devem informar aos novos consumidores sobre o uso eficiente e racional da energia elétrica, além dos riscos e cuidados necessários à segurança.

A ANEEL é a responsável por publicar as resoluções que fixam as metas e os prazos que cada Estado, concessionária ou permissionária, terá para executar as obras. Cabe também a esta agência o monitoramento dos planos de universalização de energia elétrica e fiscalizar o cumprimento das metas, prazos e diretrizes do LpT definidas pelo MME.

3. Metodologia

3.1. Tipos de Pesquisa

Este trabalho foi elaborado com base na pesquisa bibliográfica de dados. As fontes de dados utilizadas foram as publicações do programa Luz Para Todos, artigos científicos, e consulta a sites de fornecedores de equipamentos elétricos e de órgãos governamentais na área de energia elétrica. O trabalho fará um estudo de caso com uma família pertencente a uma comunidade isolada.

3.1.1. Quanto aos fins

A pesquisa será realizada em artigos científicos e sites técnicos relacionados ao tema em tela.

3.1.2. Quanto aos meios

A pesquisa também será realizada em documentos técnicos relacionados ao fornecimento de energia distribuída para ratificar os dados obtidos nesse estudo.

3.2. Universo e Amostra

Para o estudo será adotada uma família pertencente a uma comunidade isolada eletricamente com consumo típico da região que habita.

3.3. Seleção dos Sujeitos

A família escolhida para o estudo pertence à comunidade de Tucumã, localizada na Ilha de Marajó, Estado do Pará, localizada a aproximadamente 350 km da capital, Belém. Esta família foi a escolhida porque se encontra em uma região do país que é carente no fornecimento de energia elétrica e possui baixo IDH.

3.4. O procedimento e o instrumento de Coleta de Dados

Para a abordagem técnica deste estudo, foi realizada uma pesquisa em artigos científicos e publicações técnicas relacionadas ao tema em tela para embasaram este estudo. Os equipamentos elétricos que a família possui e os dados de consumo de energia elétrica foram estimados.

3.5. Tratamento de Dados

Com os dados estimados quanto ao consumo de energia da família objeto do estudo, foi construída uma tabela com o consumo horário-diário para determinar a demanda por energia e definidos os equipamentos e insumos necessários para viabilizar o fornecimento de energia da unidade consumidora.

3.6. Limitações do Estudo

Para a realização do trabalho não houve a disponibilidade de todos os dados necessários para o estudo de viabilidade, desta maneira, foi adotada algumas simplificações e estimativas para a obtenção dos dados faltantes, mas que não interferiram no resultado final do estudo. Um

exemplo de dados que foram aproximados, foi o preço do diesel na região de Macapá, e o preço do sistema fotovoltaico no Estado do Pará.

Deve ser destacado também, que por se tratar de um estudo de caso, os resultados apresentados nesse trabalho são genéricos e não podem ser aplicados como regra na determinação de qual método é mais viável economicamente para a implantação de energia elétrica em comunidades isoladas, já que cada comunidade possui as suas peculiaridades.

Um dos objetivos deste trabalho é de que o planejamento e os estudos de viabilidade sejam adotados com mais frequência a nível de governo federal, para que mais obras de ligação do programa LpT sejam realizadas e mais consumidores possam ser atendidos com o orçamento vigente do programa.

4. Resultados

4.1. Descrição da carga

Foi adotada uma residência de uma família com quatro integrantes, cujos equipamentos elétricos são alimentados em um sistema monofásico de 220 Volts (V), discriminados na tabela 3.

Equipamento Elétrico	Potência Unitária (W)	Quantidade	Potência Total (W)
Lâmpada Fluorescente	15	4	60
Chuveiro elétrico	3000	1	3000
Refrigerador	187	1	187
Televisor	100	1	100
Picador de Cana (5cv)	4530	1	4530

Tabela 3: Consumo dos equipamentos elétricos

Com base nesses dados, foi estimado o consumo da residência por meio de dados do programa Luz para todos, exemplificado na tabela abaixo:

E.E/Horário	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Iluminação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30
Chuveiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	1000	0	0
Refrigerador	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Televisor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	0
Picador de Cana	0	0	0	0	0	0	0	283	0	0	0	0	0	0	0
Total (W)	50	50	50	50	150	50	50	333	50	50	80	1180	1180	180	80

Tabela 4: Consumo horário-diário da residência

Considerando apenas o refrigerador ligado nas demais horas do dia, e um mês contendo 30 dias, chega-se a um consumo mensal estimado em 118 kWh. Para dimensionamento do sistema elétrico da residência

foram utilizados os dados de placa dos equipamentos e os horários mais prováveis que eles estariam sendo usados, conforme descrito na tabela 5.

E.E/Horário	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Iluminação											60	60	60	60	60
Chuveiro												3000	3000		
Refrigerador	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187
Televisor												100	100	100	
Picador de Cana								4530							
Total (W)	187	187	187	187	187	187	187	4717	187	187	247	3347	3347	347	247

Tabela 5: Consumo instantâneo estimado da residência

De acordo com os dados obtidos na tabela 5, o pico máximo de carga na residência será de 4.717 Watts (W), considerando um fator de potência de 0,92 (fator mínimo admitido pela Legislação brasileira), conforme a equação I, a potência necessária para suprir a demanda na instalação será de 5.127 Volts-Ampere (VA).

Equação I:

$$S = P \times \cos \phi$$

Onde:

S: Potência Aparente (VA)

P: Potência Ativa (W)

$\cos \phi$: Fator de Potência

4.2. Alternativas de Geração

4.2.1. Sistema Fotovoltaico

Para alimentar a residência com um sistema movido a energia solar serão necessárias 4 placas fotovoltaicas de 260W, duas baterias estacionárias de 220 Ah e 12 Volts, um quadro de distribuição (controlador de carga, proteção elétrica e outros acessórios) e um transformador inversor, consultando o simulador *Payback* Solar, da empresa WEG S.A., foi verificado que o preço médio de um sistema composto por esses equipamentos para atender essa demanda no Estado do Pará é de R\$ 9.488,10, o simulador *Payback* foi o utilizado porque ele utiliza dados obtidos do Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL), que é uma base ampla e confiável de dados.

A vida útil média do transformador inversor, das placas fotovoltaicas e do quadro de distribuição é de 20 anos. As baterias estacionárias têm uma vida útil média de quatro anos, e o preço médio destas no mercado é de R\$ 1.100,00 cada uma. O prazo de amortização considerado para as baterias será de quatro anos, e para os demais equipamentos será de 20 anos, a taxa de juros anual utilizada na amortização do pagamento desse sistema será de 11%, que é a taxa de juros média de depósitos interfinanceiros (DI) projetada para o longo prazo de acordo com os dados da B3¹, o preço médio de cada kWh será de R\$ 1,28. Nesse sistema, as baterias serão usadas apenas para uma reserva de emergência de

¹ Empresa resultante da fusão entre a BM&F Bovespa e Cetip

energia, utilizadas durante o período noturno e durante curtos períodos de tempo nos dias em que a incidência solar for muito baixa.

4.2.2. Sistema Movido a Diesel

O gerador movido a diesel necessário para suprir a demanda da residência deverá conter a potência de 5.500 VA, e o preço médio deste gerador no mercado é de R\$ 5.000. Para fins de estudo foi considerado o gerador a diesel modelo TD7000CBE da marca Toyama, no manual do gerador é informado que este consome aproximadamente 2,142 litros de combustível por hora, o que dará em torno de 0,39 litros de combustível para gerar 1 kW de energia (considerando um rendimento linear do equipamento). Para suprir os 118 kWh necessários para o abastecimento desta residência, serão necessários 46 litros de diesel por mês.

Considerando o preço médio do diesel na cidade de Macapá, cidade mais próxima da localidade em estudo na qual a Agência Nacional de Petróleo (ANP) disponibiliza os preços de combustíveis no sistema de levantamento de preços, foi obtido o preço médio do diesel de R\$ 3,63. O custo mensal de combustível para esse sistema será de R\$ 167,00.

A vida útil desse sistema é de 20 anos, portanto o prazo de amortização adotado também será de 20 anos, a taxa de juros anual utilizada para a amortização será a mesma do sistema fotovoltaico, de 11%. O preço médio de cada kWh gerado por diesel será de R\$ 1,84.

4.2.3. Sistema Híbrido Fotovoltaico-Diesel-Solar

Os equipamentos que mais consomem energia na residência em estudo são o chuveiro elétrico e o picador de cana. Neste sistema, para o suprimento do chuveiro será adotado o aquecimento da água por meio de placas solares. Partindo da premissa que a família toma quatro banhos diários de dez minutos cada, sendo cem litros de água consumidos em cada banho, será necessário um aquecedor com reservatório para quatrocentos litros, fazendo um levantamento de preços chegou-se ao preço médio de R\$ 2.500,00 para o equipamento. A vida útil média do aquecedor é de 20 anos, a taxa de juros utilizada na amortização será a mesma dos demais sistemas, de 11%. Amortizando esse equipamento num prazo de 20 anos, o custo mensal para suprir o chuveiro será de R\$ 24,93.

Nesse sistema, o picador de cana será alimentado pelo gerador a diesel, o circuito de iluminação, o televisor e o refrigerador pelo sistema fotovoltaico. Para aumentar a confiabilidade do sistema, resolveu-se manter o gerador de 5.500 VA, no caso de falta ou falha do sistema fotovoltaico ou solar, o gerador a diesel poderá manter sozinho o sistema. De acordo com a estimativa de consumo, o picador de cana consumirá 8,49 kWh no mês, sendo R\$ 49,85 a parcela para a amortização do gerador e R\$ 12,00 o gasto com combustível, a estimativa do custo mensal para alimentar o picador de cana será de R\$ 61,85.

Utilizando a fonte fotovoltaica para alimentar o refrigerador, a iluminação e o televisor, o consumo mensal combinado desses

equipamentos é estimado em 49,5 kWh. Segundo dados do simulador *Payback Solar*, da empresa WEG S.A., o investimento médio para implantação de um sistema similar a este, é de R\$ 4.240,76. Amortizando esse valor num prazo de 20 anos e a uma taxa de juros anual de 11%, tem-se um custo mensal de R\$ 42,28 para alimentar esses equipamentos.

O custo mensal da energia elétrica nesse sistema híbrido será de R\$ 129,06, o preço médio de cada kWh gerado será de R\$ 1,09.

4.3. Análise dos Resultados

Em face aos dados obtidos nesse estudo, pode-se verificar que o sistema com a melhor viabilidade técnica e econômica é o sistema híbrido, que é alimentado por placas fotovoltaicas, gerador a diesel e aquecimento da água por meio de placas solares. Esse sistema pode ainda ser otimizado substituindo o motor elétrico do picador de cana por um motor a diesel, nessa nova configuração o custo mensal para atender os equipamentos será menor, mas a confiabilidade do sistema também irá diminuir, já que o sistema de alimentação da iluminação, do televisor e do refrigerador dependerá exclusivamente da incidência solar.

5. Conclusão

O propósito deste trabalho foi analisar a viabilidade técnica e financeira dos diferentes sistemas de geração de energia elétrica disponíveis no mercado para o atendimento das comunidades isoladas e demonstrar que a energia elétrica é um vetor de desenvolvimento socioeconômico.

O trabalho realizou um estudo de viabilidade de implantação de sistemas elétricos movidos a fonte solar, a diesel e híbrido no atendimento de uma residência pertencente a uma comunidade isolada eletricamente. Através de indicadores socioeconômicos foi demonstrada a importância da energia elétrica na melhora dos níveis de qualidade de vida em comunidades isoladas eletricamente.

O sistema híbrido mostrou-se o mais viável, com uma grande margem frente aos demais sistemas. A elaboração de um estudo de viabilidade na implementação do programa LpT trará grandes benefícios sistêmicos ao Setor Elétrico Brasileiro porque deve os encargos com a conta de consumo de combustível e permitirá que mais comunidades isoladas possam ser suprimidas com energia elétrica melhorando a qualidade de vida destas.

Tendo conhecimento dos altos valores investidos para o fornecimento de energia elétrica nas comunidades isoladas, é necessário estudar novas configurações dos sistemas híbridos que englobem o atendimento a comunidades de diferentes regiões do Brasil com suas

peculiaridades próprias, a fim de otimizar o sistema e diminuir os custos de implantação, operação e manutenção nesses sistemas.

6. Bibliografia

[1] CARTAXO, E. F.; JANNUZZI, G. D. M., **Fornecimento de serviço de energia elétrica para comunidades isoladas da Amazônia: Um Estudo de Caso.** Disponível em <http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/ArtigoTESE-elizabeth.pdf>. Acesso em 15 de junho de 2016.

[2] RIBEIRO DO ROSÁRIO, L. T.; ELS, R. V.; BRASIL JÚNIOR, A. C. P., **Alternativas energéticas para comunidades isoladas da Amazônia: a energia hidrocínética no Maracá, sul do Amapá.** Disponível em http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vi_en/artigos/esa4/Alternativas_energeticas%20para%20comunidades.pdf. Acesso em 17 de junho de 2016.

[3] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Informativo nº 42 do programa “Luz Para Todos”.** Disponível em <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/informativos.asp>. Acesso em 15 de janeiro de 2017.

[4] BELLACOSA, J. M., SEEDS – Universidade de São Paulo, **Desenvolvimento Humano e Energia**, disponível em: seeds.usp.br/pir/arquivos/treinamentos/treinamento_fapesp/social_3_bellacosa.ppt. Acesso em 18 de fevereiro de 2017.

[5] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Janeiro de 2017**, disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico>.

Acesso em 31 de janeiro de 2017.

[6] **ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica**. Informações diversas e links para vários sites, disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em 4 de fevereiro de 2017.

[7] CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS, **Atlas brasileiro de energia solar**, disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf. Acesso em 10 de janeiro de 2017.

[8] **Portal Solar**. Informações diversas e links para vários sites, disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>. Acesso em 25 de fevereiro de 2017.

[9] PASCHOARELI JÚNIOR, D.; MAIA, L. A.; PAULA, R. R.; SEIXAS, F. J. M., **Instalação de painéis fotovoltaicos em comunidades isoladas: a experiência da Ilha da Ferradura - Ilha Solteira (SP)**, disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200016&script=sci_arttext. Acesso em 4 de março de 2017.

[10] MACEDO BLASQUES, L. C.; BISPO DO VALE, S., **Alternativas para a Sustentabilidade de Sistemas de Geração de Energia com Fontes Renováveis em Comunidades Isoladas**, disponível em: <http://docplayer.com.br/594126-Alternativas-para-a-sustentabilidade-de-sistemas-de-geracao-de-energia-com-fontes-renovaveis-em-comunidades-isoladas.html>. Acesso em 5 de março de 2017.

[11] **ANP - Agência Nacional do Petróleo**. Informações diversas e links para vários sites, disponível em: http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Estado_Municipio.asp. Acesso em: 25 de fevereiro de 2017.

[12] **Toyama do Brasil**. Informações técnicas, disponível em: <http://www.toyama.com.br/arquivos/produtos/1467744124.pdf>. Acesso em 4 de março de 2017.

[13] **WEG do BRASIL S.A.**. Informações técnicas, disponível em: <http://www.weg.net/institucional/BR/pt/solutions/solar-energy-and-smart-grid>. Acesso em 4 de março de 2017.

[14] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, **IEA Energy Atlas**, disponível em: <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1118783123/1>. Acesso em 10 de maio de 2017.

[15] **B3 – BRASIL BOLSA BALCÃO**. Informações diversas e links para vários sites, disponível em: http://www.b3.com.br/pt_br/. Acesso em 16 de maio de 2017.