

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JOSÉ MANUEL MESQUITA

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE DE
PROGRAMAS DE ELETRIFICAÇÃO RURAL COM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS INDIVIDUAIS**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO
2014

JOSÉ MANUEL MESQUITA

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE DE
PROGRAMAS DE ELETRIFICAÇÃO RURAL COM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS INDIVIDUAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Sistemas e Processamento de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Jean-Marc Stephane Lafay

Coorientador: Prof. Dr. Dalmarino Setti

PATO BRANCO
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

M582m Mesquita, José Manuel.
Método de avaliação do nível de sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos individuais / José Manuel Mesquita. -- 2014.
116 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Jean-Marc Stephane Lafay
Coorientador: Prof. Dr. Dalmarino Setti
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Pato Branco, PR, 2014.
Bibliografia: f. 90 – 97.

1. Sustentabilidade. 2. Sistemas fotovoltaicos. 3. Eletrificação rural. 4. Lógica fuzzy. I. Lafay, Jean-Marc Sthephane, orient. II. Setti, Dalmarino, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD (22. ed.) 621.3

Ficha Catalográfica elaborada por
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 025

**Método de Avaliação do Nível de Sustentabilidade de Programas de
Eletrificação Rural com Sistemas Fotovoltaicos Individuais**

por

José Manuel Mesquita

Dissertação apresentada às treze horas e trinta minutos do dia vinte e um de março de dois mil e quatorze, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA, Linha de Pesquisa – Sistemas e Processamento de Energia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (Área de Concentração: Sistemas e Processamento de Energia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Daimarino Setti
UTFPR - PB

Prof. Dr. Mario Henrique Macagnan
UNISINOS

Prof. Dr. Jean-Marc Stephane Lafay
UTFPR – PB (Orientador)

Prof. Dr. Emerson Giovanni Carati
UTFPR - PB

Prof. Dr. Emerson Giovanni Carati
Coordenador do PPGEE

* "O termo de aprovação assinado encontra-se na coordenação do PPGEE".

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, força e coragem que me deu para enfrentar esse trabalho.

A meus pais Francisco Mesquita e Luisa pela educação e investimento na minha formação.

A minha esposa Lígia e aos meus filhos Letícia, Livanía e Jelson pela paciência que tiveram durante a minha ausência.

A CAPES pela bolsa de estudo PEC-PG, Programa de Estudo Convênio de Pós Graduação, sem a qual não seria possível este trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal de Paraná (UTFPR) câmpus Pato Branco, pelo acolhimento e apoio constante; ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Elétrica, pela atenção, apoio e conhecimento proporcionado ao longo de dois anos.

Ao meu orientador Prof.Dr. Jean-Marc Stephane Lafay e ao coorientador Prof. Dr. Dalmarino Setti e ao Professor MSc. Manuel dos Passos da Silva Costa pela correção do texto.

Aos professores do mestrado em Engenharia Elétrica: Jean Carlos Cardozo da Silva, Rafael Cardozo, Emerson Geovani Carati, Ricardo Vasquez de Oliveira, Carlos M.O. Stein

Aos meus colegas do mestrado em Engenharia Elétrica.

RESUMO

MESQUITA, M. José. Método de Avaliação do Nível de Sustentabilidade de Programas de Eletrificação Rural com Sistemas Fotovoltaicos Individuais, 2014. 116f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

Os sistemas fotovoltaicos tem se caracterizado como uma das principais fontes de geração de energia elétrica em áreas remotas. Nesse contexto, destaca-se a utilização dessa fonte de energia na eletrificação rural, cujo principal objetivo é tornar possível o atendimento de pequenas propriedades, geralmente distantes dos grandes centros de consumo. Grande parte dos programas de eletrificação rural implantados no mundo não alcançou níveis de sustentabilidade adequados por considerarem mais os fatores de natureza técnica e menos os fatores socioeconômicos. Nesse contexto, este trabalho propõe desenvolver um método para avaliar o nível de sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos individuais, considerando fatores qualitativos. A metodologia consiste na identificação dos aspectos que contribuem para a sustentabilidade do programa; as boas práticas e as oportunidades de melhoria dos programas implantados no mundo. A partir disso, foram identificadas três dimensões de sustentabilidade, dimensão 1 - Política, orçamento e origem do recurso; dimensão 2 – Características dos sistemas fotovoltaicos e dimensão 3 – Gestão do programa, que deram origem a 33 questões referentes à sustentabilidade dos programas. Desenvolveu-se um modelo matemático para avaliar a sustentabilidade dos programas de eletrificação rural baseado na utilização de especialistas para avaliar as 33 questões elaboradas, por meio do uso de lógica *fuzzy* (variáveis linguísticas), com adaptação do método *fuzzy* TOPSIS para o tratamento das informações. A análise dos resultados das questões da dimensão 1 revelam que os conceitos estabelecidos por cada especialista não tiveram alterações significativas. Para as questões da dimensão 2, percebe-se uma maior disparidade nas opiniões. Já nas questões da dimensão 3, ambos os especialistas avaliaram as questões de forma uniforme, com alto nível de importância. O modelo matemático empregado determinou as distâncias entre as respostas avaliadas como as mais apropriadas pelos especialistas (solução ideal) e as respostas fornecidas pelos usuários do método proposto. O resultado da análise indicou a distância máxima 6,635 e mínima 2,874 das alternativas para a dimensão 1. Para dimensão 2, o valor máximo foi de 4,367 e mínimo de 1,722; e para a dimensão 3, máxima 7,646 e mínima 1,965. O método proposto neste trabalho foi aplicado para o programa de eletrificação rural existente no Timor-Leste, obtendo-se os índices de sustentabilidade de 45,73 para dimensão 1, 33,19 para a dimensão 2, 39,50 para a dimensão 3 e 39,14 para o índice de sustentabilidade global.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Sistemas Fotovoltaicos. Eletrificação Rural. Lógica *Fuzzy*. TOPSIS.

ABSTRACT

MESQUITA, M. Jose. Assessment Method of the Sustainability Level of Rural Electrification Programs with Individual Photovoltaic Systems. 2013. 116fl. Dissertation - Graduate Program in Electrical Engineering, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2013.

Photovoltaic systems have been characterized as a major source of power generation in remote areas. In this context, the use of this energy source, whose main aim is to provide electricity to small properties, that often are far from large centers of consumption has significantly increased in rural areas. Most of the rural electrification programs implemented in the world have not achieved adequate levels of sustainability mainly because they considered only technical aspects and focused less on socioeconomic factors that also affect the level of sustainability. In this context, this paper proposes to develop a method to assess the level of sustainability of rural electrification programs with a single photovoltaic system, considering qualitative factors. The indicators of assessment that contributed to the rural electrification program were realized by means of the fuzzy TOPSIS analysis tool. The methodology consists of identifying the aspects that contribute to the sustainability of the program, the best practices, and opportunities of improvement of the program to be implemented worldwide. From this, three dimensions identified, Dimension 1 - Policy, Budget and origin of feature, 2 - Characteristics of PV systems and 3 - Program Management, which together result in 33 questions of a sustainable program. The mathematical model has been used to assess the sustainability of a rural electrification program based on expert judgment on 33 questions developed through the use of fuzzy logic (linguistics variable), with the adaptation of fuzzy TOPSIS method for processing information data. The results of the analysis of the questions related to Dimension 1 reveals that the criteria established by each expert showed no significant change. For the second dimension, a greater disparity in opinions can be seen. Finally, for the third dimension, both experts had similar opinions, with level of significance ranging. The mathematical method was employed to determine the distance between the responses evaluated as the most appropriate by experts (ideal solution) and the answers provided by users of the proposed method. The result of the analysis indicated the maximum 6,635 and minimum 2,874 distances of the alternatives to dimension 1. For the second dimension, the maximum value was 4,367 and the minimum was 1,722, and for the third dimension, the maximum was 7,646 and minimum 1,965. The method proposed in this paper was applied to the existing rural electrification program in Timor-Leste, and show the sustainability index obtaining for each dimension: 45,73 for dimension 1, 33,19 for dimension 2, 39,50 for dimension 3 and 39,14 for global index of sustainability.

Keywords: Sustainability. Photovoltaic Systems. Rural Electrification. Logic Fuzzy. TOPSIS.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1– DESENHO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	29
FIGURA 2– NÚMERO FUZZY TRIANGULAR	44
FIGURA3 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO TIMOR-LESTE.....	71
FIGURA 4 –MAPA POLÍTICO DO TIMOR-LESTE, COM A LOCALIZAÇÃO DOS DISTRITOS E DOS GERADORES	71
FIGURA5 – FOTO: CANAL DE CONDUTO DE ÁGUA PARA CENTRAL HÍDRICA LOIHUNO.....	76
FIGURA6 – FOTO: BIODIGESTOR DE BIOGÁS INSTALADO EM ERMERA.....	76
FIGURA7 – FOTO: GERADOR A BIOGÁS INSTALADO EM ERMERA.....	77
FIGURA8 – FOTO: INSTALAÇÃO DE REFINARIADE BIODIESEL EM METINARO.	78
FIGURA9 – FOTO: PLANTAÇÃO DE MUDAS DE <i>JATROPHACURCAS</i> EM METINARO	78
FIGURA 10 –FOTO: SEMENTE DE <i>JATROPHACURCAS</i> PARA EXTRAÇÃO DE BODIESEL	79
FIGURA 11– LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO EÓLICA.	80
FIGURA 12 – FOTO: INSTALAÇÃO DE MÓDULO FOTOVOLTAICONA CASA LOCALIZADA EM ÁREAS RURAIS ISOLADAS	81
FIGURA 13 – FOTO: FAMÍLIA BENEFICIADA COM ENERGIA FOTOVOLTAICA...	82

LISTA DE TABELAS

TABELA 1– VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS E NÚMEROS TRIANGULARES FUZZY CORRESPONDENTES UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DAS QUESTÕES	49
TABELA 2 – VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS E NÚMEROS TRIANGULARES FUZZY CORRESPONDENTES UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DAS ALTERNATIVAS	50
TABELA 3 – AGREGAÇÃO DE PESOS DAS QUESTÕES DAS DIMENSÕES 1, 2 E 3	67
TABELA 4–RESULTADO DO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PROXIMIDADE PARA ALTERNATIVAS DA DIMENSÃO 1	67
TABELA 5 – RESULTADO DO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PROXIMIDADE PARA ALTERNATIVAS DA DIMENSÃO 2	68
TABELA 6 – RESULTADO DO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PROXIMIDADE PARA ALTERNATIVAS DA DIMENSÃO 3 DAS QUESTÕES 3.1 A 3.7	68
TABELA 7 – RESULTADO DO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PROXIMIDADE PARA ALTERNATIVAS DA DIMENSÃO 3 DAS QUESTÕES 3.8 A 3.14	69
TABELA 8 – RESULTADO DOS VALORES TOTAIS PARA OS MÁXIMOS E MÍNIMOS DOS ÍNDICES DE PROXIMIDADE PARA AS ALTERNATIVAS DAS DIMENSÕES 1, 2 E 3	69
TABELA 9 –ORÇAMENTO DO PROGRAMA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DO TIMOR-LESTE	81
TABELA 10 – RESULTADO DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO PROGRAMA DE ELETRIFICAÇÃO DO TIMOR-LESTE	83
TABELA 11 – RESULTADO DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE PARA AS DIMENSÕES 1,2 E 3 E PARA O GLOBAL DO PERSFI DO TIMOR-LESTE	84
TABELA 12– RESULTADO DE AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE PROXIMIDADE PARA ALTERNATIVAS DA DIMENSÃO 1, 2 E 3	86
TABELA 13 – RESULTADO DO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PROXIMIDADE PARA ALTERAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DA DIMENSÃO 1, 2 E 3 PARA O PROGRAMA DE ELETRIFICAÇÃO DO TIMOR-LESTE	86
TABELA 14 – RESULTADO DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE PARA DIMENSÃO 1, 2 E 3 E DO GLOBAL DO PERSFI DO TIMOR-LESTE	87

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1–RECURSOS FINANCEIROS DO PROGRAMA.....	23
QUADRO 2–TRABALHOS DE PERSFI SELECIONADOS PARA CRIAÇÃO DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO.....	46
QUADRO 3–CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DOS ARTIGOS SELECIONADOS	56
QUADRO 4–ASPECTOS DE INFLUÊNCIA SOBRE A SUSTENTABILIDADE APONTADOS PELOS ARTIGOS ANALISADOS	58
QUADRO 5–QUESTÕES DA DIMENSÃO 1	59
QUADRO 6–QUESTÕES DA DIMENSÃO 2	60
QUADRO 7–QUESTÕES DA DIMENSÃO 3	60
QUADRO 8–BANCO DE ESPECIALISTAS UTILIZADOS	61
QUADRO 9–CLASSIFICAÇÃO DAS QUESTÕES POR ESPECIALISTAS - DIMENSÃO 1	62
QUADRO 10–CLASSIFICAÇÃO DAS QUESTÕES POR ESPECIALISTAS - DIMENSÃO 2	62
QUADRO 11–CLASSIFICAÇÃO DAS QUESTÕES POR ESPECIALISTAS - DIMENSÃO 3	63
QUADRO 12–CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS POR ESPECIALISTAS - DIMENSÃO 1	64
QUADRO 13–CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS POR ESPECIALISTAS - DIMENSÃO 2	65
QUADRO 14–CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS POR ESPECIALISTAS - DIMENSÃO 3	65

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANNEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
CNPTL – Companhia Nacional Petróleo de Timor-Leste
IS – Índice de Sustentabilidade
MAF – Ministério de Agricultura e Floresta
PRODEEM – Programa de Eletricidade Estado Município
PERSFI – Programa de Eletrificação Rural com Sistemas Fotovoltaicos Individuais
SEPE – Secretaria de Estado da Política Energética
SIGFIs – Sistema Individual de Geração de Fontes Intermitentes
TOPSIS – *Technic for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*
USD – Câmbio em Dólar Americano

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 A ELETRIFICAÇÃO RURAL EM COMUNIDADES ISOLADAS NO MUNDO.....	18
2.1.1 Financiamento do Programa de Eletrificação Rural	22
2.1.2 Critérios para Seleção de Usuários	25
2.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO	27
2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	27
2.3.1 O Módulo Fotovoltaico.....	31
2.3.2 Bateria	31
2.3.3 Controlador de Carga	32
2.3.4 Inversor	33
2.3.5 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico	33
2.4 SUSTENTABILIDADE DO PROJETO FOTOVOLTAICO	35
2.5 MONITORAMENTO DO SISTEMA	39
2.6 AVALIAÇÃO DO PROGRAMA.....	40
2.7 POLÍTICAS DE ELETRIFICAÇÃO RURAL	41
2.8 FUZZY TOPSIS.....	42
2.8.1 Peso subjetivo e objetivo.....	44
3. METODOLOGIA.....	46
3.1 ELABORAÇÃO DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO	46
3.1.1 Análise Crítica dos Trabalhos Selecionados	47
3.1.2 Elaboração das Questões e Alternativas.....	47
3.2 COLETA DE INFORMAÇÕES	48
3.2.1 Seleção dos Especialistas.....	48
3.2.2 Coleta de Informações das Questões	48
3.2.3 Coleta de Informações das Alternativas	49
3.3 MODELO MATEMÁTICO DA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE	50
3.3.1 Agregação das Informações Obtidas	50
3.3.2 Aplicação do <i>fuzzy</i> TOPSIS	51
3.3.3 Índice do Nível de Sustentabilidade	53

3.4 ESTUDO DE CASO	53
3.4.1 Avaliação do Nível de Sustentabilidade do Programa de Eletrificação Rural de Timor-Leste	54
3.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO PARA TOMADA DE DECISÃO.....	54
4. RESULTADOS	55
4.1 INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO	55
4.1.1 Questões das Dimensões	58
4.2 COLETA DE INFORMAÇÕES	61
4.2.1 Seleção dos Especialistas.....	61
4.2.2 Avaliação da Importância das Questões	62
4.2.3 Avaliação da Importância das Alternativas.....	63
4.3 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE	66
4.3.1 Agregação de Pesos de Questões e Alternativas de Respostas	66
4.3.2 Resultados da Aplicação do <i>fuzzy</i> TOPSIS.....	67
4.4 ESTUDO DE CASO	70
4.4.1 Setor Energético do Timor-Leste.....	73
4.4.2 Avaliação da Sustentabilidade do Programa de Eletrificação Rural do Timor-Leste	82
4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO PARA TOMADA DE DECISÃO.....	84
5. CONCLUSÃO.....	85
REFERÊNCIAS.....	90
APÊNDICE A - PERGUNTAS E RESPOSTAS.....	98
APÊNDICE B - CARTAS PARA ESPECIALISTAS.....	113
APÊNDICE C - CARTA PARA SECRETÁRIO DE ESTADO DE ELETRICIDADE E ÁGUA DO TIMOR-LESTE.....	116

1. INTRODUÇÃO

O provimento de energia elétrica às regiões isoladas é um dilema para os países em desenvolvimento. Dado que o custo de investimento nem sempre é viável, pois não é atrativo para as concessionárias de energia. Por isso que as áreas isoladas não se incluem nos projetos futuros de energia das concessionárias. Em consequência, as populações residentes em áreas rurais deixam de ter acesso à eletricidade, o que gera um acentuado desequilíbrio social. Apesar da carência de energia elétrica, Vesentini (2004) percebeu que a maioria dos camponeses prefere permanecer no campo ao invés de se transferirem para os centros urbanos onde a eletricidade é acessível. A permanência no campo é motivada pelas questões culturais e com o apego às propriedades agrícolas e pecuárias.

O atendimento de energia às comunidades urbanas é proveniente de sistemas centralizados de geração de energia que passa a ser transportada para as subestações, localizadas próximos aos centros urbanos. A transmissão de energia é feita em tensão elevada a fim de minimizar as perdas de energia nas linhas de transmissão. A falta de energia no meio rural é um problema comum para muitos países em desenvolvimento.

O gerador a diesel, geralmente de pequeno porte, tornou-se a fonte principal de abastecimento energético às pequenas comunidades rurais em experiências levadas a cabo na Malásia. No entanto, Malek (2010) indica que o abastecimento do combustível é irregular. Os combustíveis são transportados a grandes distâncias o que afetava o preço do diesel, tornando-o extremamente caro. Além disso, existem também gastos com manutenção de equipamentos inviabilizando o uso do gerador a diesel e sua substituição pelo sistema fotovoltaico.

Na Índia, a eletrificação das áreas rurais é atendida por sistemas de geração descentralizados. Os sistemas de geração são constituídos por fontes de energia eólica, solar, biomassa e gerador a diesel. Esses recursos foram utilizados para geração de eletricidade para abastecimento de energia no meio rural. A energia elétrica gerada por essas fontes apresentam custos diferentes. O custo da energia elétrica por kWh produzida a partir de biomassa é menor do que o da energia elétrica gerada pelas demais fontes de geração. Entretanto o seu custo de manutenção é maior. O custo da energia elétrica por kWh gerada por fontes eólicas

é um pouco acima do preço da energia produzida pela fonte de biomassa e menor em relação ao preço da energia gerada pelo sistema fotovoltaico e gerador a diesel. Como as condições de vento não são favoráveis na maioria das comunidades isoladas, a implantação dessa fonte de energia seria pouco eficiente. O custo por kWh de energia elétrica gerada por gerador a diesel e sistema fotovoltaico é praticamente igual. Por outro lado, o custo de manutenção para gerador a diesel é superior em relação ao do sistema fotovoltaico.

Els (1997) comparou o custo de energia gerado por sistema fotovoltaico e o de gerador a diesel e concluiu que a partir de uma faixa da capacidade (centenas de Wp), o custo de energia elétrica (kWh) gerado por sistema fotovoltaico é 85% mais barato do que o custo de energia gerado a diesel. Isso se deve ao fato de que a capacidade da maior parte dos geradores a diesel existente é para potências elevadas, ou seja, não existe um tamanho mínimo prático para o gerador a diesel. Assim, para pequenas cargas em áreas remotas rurais, a utilização desses geradores acaba sendo superdimensionada, inviabilizando economicamente a aplicação. Além disso, o custo de manutenção do gerador a diesel é um problema muito significativo devido à indisponibilidade de mão de obra qualificada. Portanto o sistema fotovoltaico é mais econômico do que a diesel também em algumas situações, em especial para as áreas remotas de difícil acesso ao transporte de combustível e aonde o consumo de energia é pequeno.

Diante dessas condições, o sistema fotovoltaico é mais vantajoso em relação às outras fontes energéticas. Por isso o sistema fotovoltaico é mais utilizado para eletrificação rural no mundo, especialmente nas áreas remotas da Índia, como afirma Kamalpur, (2010). É importante ainda ressaltar, segundo Reis (2011), que além do sistema fotovoltaico consistir de uma das tecnologias mais apropriadas para aplicação na eletrificação rural para atendimento de pequenas cargas isoladas, a manutenção requerida pelo sistema é mínima.

Essa aplicação de sistemas de energias renováveis em eletrificação rural tem sido percebida como solução promissora para eletrificação rural. No entanto, esse tipo de energia apresenta vários desafios tais como elevado custo e complexidade tecnológica, por isso a necessidade de avaliar, resolver e controlar os principais problemas de sustentabilidade apresentados pelos projetos após sua implantação.

Para avaliação dos indicadores referentes ao programa de eletrificação rural, optou-se pela utilização da ferramenta de análise *fuzzy* TOPSIS, objetivo deste trabalho, considerando que se aborda, com mais profundidade, os programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos.

Muitos dos programas de eletrificação rural implantados no mundo não tiveram sustentabilidade pelo fato de levarem em consideração somente os fatores técnicos, negligenciando-se os fatores socioeconômicos. Consideram-se, neste trabalho, todos os indicadores para que haja um efetivo controle e sustentabilidade dos projetos implantados.

A falta de acesso à energia elétrica está mais presente em países em desenvolvimento em que as diferenças sociais são maiores. Timor-Leste, oficialmente chamado de República Democrática de Timor-Leste, é um dos países mais jovens do mundo situado no sudoeste Asiático. Conseguiu sua independência da Indonésia em 2002. Possui um território aproximado de 15 mil quilômetros quadrados e uma população de um milhão de habitantes. Atualmente, ocupa a 134ª posição na lista dos 187 países que foram avaliados em relação ao desenvolvimento humano, pesquisa conduzida pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento- PNUD (2013), o que torna o país menos desenvolvido no continente asiático. O programa de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos deste país será analisado com a metodologia desenvolvida neste trabalho.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método para avaliar o nível de sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos individuais.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar os parâmetros que contribuem para a sustentabilidade do programa de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos;

2. Estudar as características e as boas práticas dos programas de eletrificação rural mediante os sistemas fotovoltaicos implantados no mundo;
3. Formular questões e alternativas para serem avaliadas por especialistas na área de eletrificação rural;
4. Desenvolver ferramenta, visando à verificação de sustentabilidade do programa de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma:

O capítulo 1 discorre sobre o acesso à eletricidade em comunidades isoladas; as estratégias de eletrificação rural adotadas em alguns países, além de apresentar o objetivo geral e os específicos deste trabalho.

O capítulo 2 trata dos conceitos sobre a eletrificação rural de um modo geral, do sistema fotovoltaico e seus respectivos componentes, tipos de financiamento do programa e seleção dos beneficiários e a sustentabilidade dos programas.

O capítulo 3 descreve o método utilizado e as etapas de análise de sustentabilidade, seleção e análise de trabalhos, desenvolvimento do modelo matemático de avaliação do nível de sustentabilidade.

O capítulo 4 apresenta os resultados dos estudos realizados.

O capítulo 5 apresenta as principais conclusões obtidas no desenrolar do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A ELETRIFICAÇÃO RURAL EM COMUNIDADES ISOLADAS NO MUNDO

Reis (2005) afirma que mais de 1 bilhão de habitantes ou aproximadamente 20% da população mundial, vivem em localidades isoladas sem ter acesso à energia elétrica. As comunidades isoladas encontram-se aglomeradas em pequenos grupos e ficam dispersas entre elas. No Brasil há cerca de 10 milhões de brasileiros que não têm acesso à energia elétrica. São pessoas que habitam áreas distantes da rede elétrica nacional (Ministério Minas e Energias do Brasil, 2011).

A eletrificação das comunidades isoladas pode ser atendida por meio de expansão da rede elétrica convencional e de sistemas descentralizados. Entretanto a escolha dessas tecnologias deve ser baseada em critérios os quais seriam no entender de Cabraal (1994): as necessidades dos consumidores, a viabilidade técnica e econômica, a disponibilidade e capacidade de pagamento dos usuários do sistema. Existem duas opções técnicas para levar eletricidade às áreas rurais: expansão da rede elétrica e a implantação de tecnologias de fora da rede, que, segundo Rahman (2013), seria na forma de módulo individual ou coletivo, neste caso como se tratasse de uma minirrede.

No entanto, se deve levar em consideração aspectos socioculturais dos usuários que estão associados com a sustentabilidade do programa. E, finalmente, conclui-se que a escolha de tecnologia para eletrificação rural é influenciada por fatores políticos e socioeconômicos.

Contudo, existem vários desafios relacionados à tecnologia para a aplicação de sistemas de energias renováveis à eletrificação rural. Uma das vantagens intrínsecas à utilização desses sistemas é a possibilidade das comunidades em aumentar a renda familiar, por meio de atividades secundárias, possibilitando um aumento na qualidade de vida das pessoas beneficiadas pelo programa de eletrificação rural, além de promover benefícios econômicos para o país.

Portanto, o processo de eletrificação rural precisa levar em conta vários critérios para garantir a sustentabilidade e subsistência da comunidade. A seleção dos critérios é muito importante porque devem garantir a sustentabilidade do sistema energético. A expansão da rede elétrica até as remotas áreas rurais torna-se inviável por causa da inacessibilidade às comunidades rurais; da baixa densidade populacional; da não rentabilidade do projeto às concessionárias; do desconhecimento tecnológico e, até mesmo, do excesso de dependência de subsídios, afirma Rahman (2013). No entanto, quando estes aspectos são contornáveis, torna-se possível a expansão da rede elétrica.

Às áreas rurais onde existe expressiva concentração populacional, há o fornecimento de energia convencional através da expansão da rede, opção considerada viável em relação aos investimentos exigidos pelo programa de eletrificação rural, como assinala Javadi (2012). Por outro lado, Rahman (2013) afirma que a viabilidade de expansão da rede justifica-se mediante a comparação dos custos de energia elétrica gerada pelos sistemas descentralizados e o custo de energia elétrica proveniente da rede convencional, que é menor.

Os sistemas descentralizados são constituídos por pequenas unidades de energias renováveis e não renováveis. A saber:

- Gerador a Diesel: o gerador a diesel é utilizado para abastecimento de energia às comunidades isoladas em áreas remotas. No entanto, o transporte de combustíveis até as localidades remotas, torna elevado o preço do combustível bem como o custo de manutenção. Portanto, a energia solar apresenta-se para Ahmed (2003) como uma melhor alternativa para geração de energia nessas localidades, apesar de o seu investimento inicial ser maior, compensa-se pelo baixo custo operacional;
- Módulo Fotovoltaico Individual: a expansão da rede elétrica às comunidades isoladas não é viável para as áreas onde as populações são dispersas e o consumo de energia é muito baixo. Nas áreas remotas onde não é possível a eletrificação por meio da extensão da rede elétrica convencional, o atendimento pode ser realizado principalmente através da instalação de pequenos sistemas fotovoltaicos, com capacidade que varia entre 50 Wp até alguns kWp e funciona em corrente contínua, destinado ao atendimento das necessidades de iluminação e funcionamento de outros equipamentos elétricos, como, por exemplo, televisão ou rádio. Se a comunidade necessita utilizar determinados equipamentos, tais como bombeamento

de água, geladeiras, micro-ondas telefone, deve-se, destaca Makukatin (1994), ampliar a capacidade do sistema;

- Sistema Fotovoltaico Coletivo: o sistema coletivo é destinado para atendimento de energia elétrica às localidades onde existe maior concentração de famílias, centros sociais, escolas e centro de saúde. A energia elétrica gerada é distribuída às famílias através da rede de distribuição local. Para essas comunidades o sistema fotovoltaico coletivo é a tecnologia mais apropriada, defende Javadi (2012), além de ser economicamente viável em relação à expansão da rede elétrica convencional;

- Sistema Híbrido Fotovoltaico-Diesel: o sistema de geração híbrido é constituído por painel fotovoltaico e gerador a diesel incluindo unidade de armazenamento e ligado a uma rede de distribuição de energia em corrente contínua. Como a potência gerada pelo painel solar fotovoltaico é corrente contínua e a rede de distribuição opera em corrente alternada, é necessário a presença do inversor que converte a corrente contínua em corrente alternada. Com a redução de preços de painéis fotovoltaicos no mercado, os sistemas híbridos fotovoltaico-Diesel tornam-se atraentes às instituições encarregadas de eletrificação rural e às agências doadoras, principalmente, devido ao aumento de preços dos combustíveis. Por outro lado, segundo Lena (2013) além da redução de custo operacional, as instituições têm a possibilidade de oferecer maior qualidade no fornecimento de energia mediante o sistema híbrido do que com sistemas de geração de fonte única tradicional.

Nos sistemas descentralizados, as fontes de geração constituem-se de pequenas unidades de energias renováveis e convencionais que se encontram instaladas próximo aos consumidores. Todos os sistemas descentralizados apresentados anteriormente, devem se pautar por uma gestão administrativa dentro dos padrões de qualidade para que não sofram revezes em sua sustentabilidade.

Essas centrais de geração, segundo Cabraal (1996), são de pequeno porte e a energia gerada é somente para atendimento de pequenas cargas, tais como iluminação doméstica, uso de pequenos aparelhos como rádio e televisão. Para Jannuzi (2009), a iluminação das moradias em áreas rurais é atendida por meio de equipamentos tradicionais, lâmpadas de querosene, velas, pilhas e baterias automotivas visando o funcionamento de aparelhos de rádio e televisão. Para minimizar a discrepância entre a vida no meio rural e urbana, foram incentivados programas de universalização pelos governos federais e municipais para o atendimento de energia às comunidades isoladas brasileiras, mediante a criação de

programas de eletrificação rural como o PRODEEM, LUZ para Todos, e o SIGFIs (Sistema Individual de Geração através de Fontes Intermitentes).

O programa de eletrificação rural do Brasil denominado PRODEEM (Programa de Eletricidade Estado Município) foi lançado em 1999. O programa tinha por objetivo o atendimento de eletricidade às comunidades isoladas. Calcula-se que mais de 40 mil famílias foram atendidas com eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos individuais. Os pré-requisitos para seleção dos beneficiários foram: nível salarial e distância da rede elétrica.

A geração de eletricidade no meio rural foi utilizada para atender as necessidades básicas das comunidades isoladas, como iluminação, centros comunitários, escolas, centros de saúde e bombeamento de água. Devido à ausência de acompanhamento e prestação de serviços, manutenção dos sistemas instalados, a ocorrência de falhas nos sistemas foi inevitável. Essas áreas não entrarão no plano do programa de eletrificação convencional.

O financiamento do projeto teve apoio do governo federal, estadual, organizações não governamentais de cooperação internacional. Para avaliação do programa, criou-se uma equipe de auditoria. No processo de auditoria foram encontradas irregularidades cometidas na execução do projeto. Em consequência, o programa teve que ser suspenso pelo Tribunal das Contas em (2000). Em 2004, a ANNEL através da resolução nº 83/2004 estabeleceu SIGFIs.

O projeto de eletrificação rural em Bangladesh foi um dos projetos mais bem sucedidos no mundo. O governo de Bangladesh assumiu o compromisso de eletrificar todas as pequenas comunidades do país. Para atingir essa meta, disponibilizou investimentos em tecnologias de geração energética a partir de fontes renováveis. É importante destacar que o projeto teve, desde seu início, a meta de tornar sustentável o programa de eletrificação rural das pequenas comunidades.

Para implantação do projeto, em primeiro lugar, foi necessário estabelecer critérios que determinassem quais as comunidades que poderiam ser atendidas pelo programa. Os pré-requisitos necessários para o atendimento do programa no entendimento de Lahimer (2013) seriam: possuir menos de 200 habitantes, terem um elevado grau de dispersão, estar distante da rede distribuição de energia e fora das possibilidades, a curto e meio prazo, de entrarem nos planos de eletrificação rural convencional (extensão da rede). Além destes, existem critérios sociais, e

econômicos, por último, de grande importância, a capacidade e disponibilidade em contribuir tanto financeiramente, como com o trabalho na instalação do sistema.

Segundo Millinger (2012), na Índia, a solicitação do programa de eletrificação rural necessita de documentação oficial, seguindo os trâmites seguintes: os líderes comunitários dirigem a proposta à agência responsável pelo programa. A equipe de pesquisa desloca-se ao local para fins de estudos da área a ser eletrificada. Publica-se a proposta e as empresas interessadas no projeto apresentam projetos com todos os aspectos técnicos e econômicos. Após análise, uma ou várias empresas são escolhidas para implantação do projeto. A execução do projeto fica sob a supervisão dos funcionários do governo em localidades selecionadas através de critérios de seleção de usuários. Quando a instalação for concluída há a indicação de um técnico escolhido pelo poder público para responsabilizar-se pela manutenção dos equipamentos.

Quanto ao financiamento do programa, estabeleceram-se instituições de microcrédito, que facilitaram a aquisição de sistemas fotovoltaicos por comunidades de baixa renda. Por isso que os sistemas utilizados para eletrificar as comunidades são de pequeno porte, constituído por painel de 50 Wp, uma bateria, regulador de carga para atenderem pequenas demandas de consumo nas famílias. O dimensionamento do sistema leva sempre em considerações questões técnicas sociais e econômicas das comunidades.

2.1.1 Financiamento do Programa de Eletrificação Rural

O desenvolvimento tecnológico e a exigência de normas internacionais relacionadas ao aquecimento global despertaram a atenção do mundo para o investimento em tecnologias ambientalmente limpas. Desta forma, segundo Altawell (2012), surgiram várias instituições que investem nos programas de eletrificação rural.

A maior parcela de investimentos na implantação de energia alternativa vem de aporte dos governos e de doadores internacionais que compreendem cerca de 90% do investimento total e as comunidades locais contribuem com a parcela restante. Além disso, Zhang (2010) pensa que o financiamento do programa pode

ser realizado em conjunto entre o governo central e local desde que o custo da execução do projeto e sua manutenção estejam previstos no plano orçamentário de ambos os governos.

Para Altawell (2012), os investimentos no programa de eletrificação rural advêm de fontes financeiras públicas, de fundos compartilhados (público-privado), de crédito e de doação de equipamentos pelas instituições internacionais. O autor destaca ainda os impactos que as diferentes fontes de investimentos têm na implantação dos programas de eletrificação rural em alguns países. Como exemplo, seu estudo indicou que a eletrificação rural do Chile, financiada pelo investimento público, obteve resultados insatisfatórios. Segundo o autor, o fracasso do programa reside na falta de capacitação técnica dos usuários e também porque o programa não considerou os aspectos relacionados à manutenção do sistema.

O Quadro 1 apresenta uma síntese dos resultados dos programas de eletrificação rural no mundo em função do tipo de investimentos aplicados.

Tipos de Investimento	Resultados		Observações	Países
	Positivo	Negativo		
Público		Insucesso	No programa não está previsto orçamento para manutenção dos sistemas	Chile
Público-Privado	Sucesso		A empresa é responsável pela gestão do sistema	Bangladesh
Crédito		Insucesso	Incapacidade do usuário pelo pagamento parcelado	Bangladesh
Doação Internacional (Banco Mundial)	Sucesso		Uso de equipamentos de qualidade	Indonésia

Quadro1– Recursos Financeiros do programa

Fonte: ALTAWELL, 2012

Em contrapartida, no financiamento público-privado, o governo financia o programa e a empresa privada se responsabiliza pela execução do projeto,

treinamento dos usuários e manutenção dos equipamentos. Neste modelo de gestão, a probabilidade de se obter sucesso é maior. A aquisição dos equipamentos através de crédito consignado por parte dos usuários apresenta inúmeros riscos ao programa. Neste caso, a probabilidade de sucesso é menor devido à incapacidade dos usuários em pagar as dívidas. É interessante destacar ainda, que nos programas financiados por doações e fundos internacionais foi levada em consideração a qualidade dos equipamentos fornecidos.

Há vários mecanismos para aquisição de sistemas fotovoltaicos pelos usuários. Segundo Cabraal, (2009) e Reis, (2011) a aquisição dos sistemas fotovoltaicos podem ser através dos seguintes mecanismos:

- O Pagamento à vista: nesse tipo de pagamento, o usuário adquire o sistema fotovoltaico pelo pagamento de dinheiro a vista e torna-se dono do sistema, sendo assim, os procedimentos de instalação e de manutenção são de responsabilidade do proprietário. De fato, essa condição é mais vantajosa tanto para o usuário como para o fornecedor, além do preço do equipamento tornar-se mais barato, sem risco de transação ao fornecedor;
- O Pagamento pelo serviço: nesse tipo de transação, o usuário paga a empresa pela energia consumida que é gerada a partir de sistemas fotovoltaicos. Nesse caso, os usuários ficam isentos da responsabilidade pela manutenção do sistema, que fica sob a responsabilidade da empresa;
- Sistema crédito: no sistema crédito, o usuário adquire o sistema fotovoltaico através de pagamentos parcelados. Nesse caso, o sistema fotovoltaico fica na posse provisória do usuário, caso o cliente não realize o pagamento regular, o sistema pode ser retirado. Somente após ter finalizado o pagamento, o sistema passa a ser propriedade do consumidor. Sendo assim, a responsabilidade do sistema ficará na responsabilidade do possuidor;
- Doação através de projetos institucionais de desenvolvimento: o usuário final se torna dono do sistema. O governo adquire os equipamentos e repassa aos usuários que se tornam responsáveis pela sua manutenção, o que acontece também quando os equipamentos são doados por instituições internacionais. Dessa forma, a gestão do equipamento é responsabilidade do usuário, inclusive a manutenção e troca de componentes. Por um lado, não se proporciona custo para o usuário e a rápida disseminação de tecnologias. Por outro lado, não se estimula o sentido de pertença do usuário pelo equipamento adquirido.

Nos moldes de uma cooperativa, cada usuário do sistema instalado em sua comunidade contribuiria mensalmente com recursos em um fundo com a finalidade para a manutenção dos equipamentos instalados no meio rural. Esse programa não foi sustentável em longo prazo por dificuldades financeiras por parte dos usuários. Por isso que a grande maioria dos projetos de eletrificação rural com sistemas descentralizados, via sistemas fotovoltaicos, afirma Rahman (2013), não foi sustentável devido aos fatores relacionados à falta de apoio financeiro.

No entanto, para Corsair (2008), é fundamental a criação de fundos comunitários para ajudar as famílias rurais na capacidade de manter o sistema, a reposição de peças e serviços de assistência técnicas nas instalações. Portanto, os programas devem ser confiáveis para que os usuários estejam dispostos a contribuir com as mensalidades. Esses são os critérios para garantir a sustentabilidade do programa.

Entretanto, no mínimo, o projeto deve gerar um fluxo de caixa suficiente para cobrir os custos de operação e manutenção dos sistemas. É importante que nos acordos contratuais estejam definidos o papel e a responsabilidade de cada parceiro: quem é o financiador, o responsável pela execução, gestão e monitoramento do sistema.

2.1.2 Critérios para Seleção de Usuários

Programas de eletrificação rural estabelecem critérios para seleção das comunidades a serem atendidas. Além disso, Rahman (2013) defende que esses critérios servem de referências para a seleção de tecnologias de geração de energia que serão aplicadas nas comunidades rurais.

A maioria dos critérios tem as mesmas características apesar de existir algumas peculiaridades. Por exemplo, o programa de eletrificação rural da Indonésia adota como parâmetros as comunidades que vivem em áreas isoladas e distantes da rede elétrica. Essas comunidades, segundo os levantamentos efetuados pelo governo demorariam, possivelmente, mais de 10 anos para serem atendidas pela rede elétrica convencional. Portanto são as primeiras atendidas pela implantação do sistema fotovoltaico. Outros critérios exigidos na análise de Dasuki (1994):

disponibilidade de recursos de energia solar, existência de cooperativas rurais, disposição das comunidades para o pagamento de energia.

O Brasil adota, no entendimento de Diniz (2003), critérios diferentes, tais como a baixa renda familiar, localidades distantes da rede elétrica com mais de 100 pessoas, e sem a possibilidade de acesso à rede elétrica convencional nos próximos cinco anos.

Corsair (2009) discorda de certos critérios estabelecidos por determinados governos, pois, segundo sua opinião, as comunidades selecionadas no programa deveriam ter condições financeiras para manter o funcionamento dos equipamentos, caso necessitassem de serviços de manutenção e reposição de peças. Por outro lado, Schillebeeckx (2012) defende que às famílias carentes não devem ser excluídas do programa e que, nesse caso, faz-se necessário o apoio financeiro governamental ou de fundos internacionais.

A dificuldade de acesso a determinadas áreas rurais, inclusive com a precariedade das estradas, pode influenciar a decisão sobre a seleção de uma abordagem para a eletrificação rural. No entanto, Poudel (2013) corrobora com a ideia de Diniz (2003) ao reafirmar que as comunidades sem acesso à energia elétrica e sem a possibilidade dos serviços de extensão da rede elétrica convencional nos próximos cinco anos, devem ser beneficiadas pelo sistema fotovoltaico. Para Kamalapur (2010), baseado em um exame preliminar dos aspectos econômicos relativos, uma aldeia remota é geralmente considerada como uma localização de pelo menos 3 km da rede existente em morro e áreas florestais, e a 7 quilômetros nas planícies.

No Peru, percebe-se que o governo dá prioridade às regiões com a menor incidência de conectividade elétrica e maior índice de pobreza, enquanto que na Costa Rica e na Tailândia utilizam-se outros diferenciais. Nesses países, há maior investimento energético nas áreas que já dispõem de infraestrutura comercial. Schillebeeckx (2012)

Para Javadi (2012), a eletrificação das áreas rurais deve considerar a proximidade da rede existente, a acessibilidade por via rodoviária, o tamanho da aldeia e número de clientes esperados nos primeiros cinco anos.

Nota-se que os autores nomeados apresentam diversos critérios para a eletrificação rural. Certos governos os adotam outros não, levando em consideração

os investimentos necessários à implantação do sistema fotovoltaico e as informações sobre a gestão dos diferentes sistemas.

2.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Os sistemas de informação consistem em importantes ferramentas para gestão de diferentes projetos, inclusive para programas de eletrificação rural que utilizam os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica.

Os sistemas de informação são meios que facilitam a transmissão de informações no mundo moderno. A informação deve ter uma estrutura clara, ordenada e detalhada. Também pode ser apresentada de diversas formas como, por exemplo: forma narrativa, numérica ou gráfica. No entanto, as informações podem ser registradas em forma de documentos, como elementos básicos para avaliação. Vale a pena, destaca Rosini (2006), que as informações devem ser bem elaboradas a fim de que se tome uma decisão correta.

Os documentos que contém informações relevantes devem ser bem organizados e arquivados no cadastro, assevera Tsekouras (2011). O cadastro é um arquivo que reúne todas as informações necessárias para a realização de um determinado projeto que se deseja desenvolver. Sendo assim, deve ser bem estruturado de forma que o acesso à informação seja rápido e acessível. As informações compostas por grandes quantidades de dados precisam ser armazenadas em bases de dados bem estruturadas.

É importante ressaltar o meio pelo qual as informações são coletadas. Existem vários métodos destacados por Hans (2011) que podem ser aplicados na coleta de informações. Os métodos geralmente utilizados para coleta de informações são: entrevistas, aplicação de questionários e pesquisa de campo.

Martinot (2000) mencionou que os equipamentos investidos nos projetos de eletrificação rural usando sistemas fotovoltaicos devem ser cadastrados, para tanto necessita de informações relevantes tais como: descrição dos equipamentos, valor do orçamento e tempo de execução.

Tommer (2010), por sua vez, em seu trabalho utilizou as informações para avaliação do consumo de energia cujos dados utilizados são: produção e consumo

de energia, perfil da carga, condição climática e necessidades dos consumidores. Por outro lado, Tsekouras (2011) desenvolveu um cadastro para registro do consumo de energia. Neste cadastro, estão arquivadas informações específicas de energia, contendo o nome dos consumidores, tipos de eletrodomésticos, consumo de energia e preço da energia.

Bond (2007), no seu trabalho sobre a eletrificação rural, mencionou as importantes informações que devem ser registradas no cadastro. Os detalhes das informações requeridas são: quantidades de sistemas instalados, número de famílias beneficiadas, localidades de cobertura do programa, o valor do custo dos equipamentos, especificações técnicas de equipamentos, o nível da renda das pessoas e os gastos com aquisição de energia tradicional. Shariar (2009), por sua vez, afirmou que é importante ter um cadastro em que contem toda informação específica dos equipamentos. As informações que precisam ser registradas são: especificação técnica do equipamento, quantidade de sistemas instalados, nome do fabricante, nome da empresa responsável do projeto e resultado de testes laboratoriais. Além disso, o mapeamento solar e o georreferenciamento por GPS são considerados como fontes de informações que facilitam o controle dos sistemas instalados e o deslocamento para visitas de campo para fins de monitoramento.

Percebe-se que cada autor citado apresenta importantes e diferentes tópicos sobre o sistema de informação; itens fundamentais para o cadastro dos sistemas fotovoltaicos, monitoramento e gestão dos equipamentos.

2.3 O SISTEMA FOTOVOLTAICO

Por sua maior facilidade de implantação e de apresentar um custo financeiro mais acessível às populações rurais, considera-se que o sistema fotovoltaico seja o mais apropriado no momento. O sistema compõe-se dos seguintes elementos: módulo fotovoltaico, bateria, controlador de carga e inversor. Na Figura 1, encontra-se a representação de uma instalação isolada operando em corrente contínua.

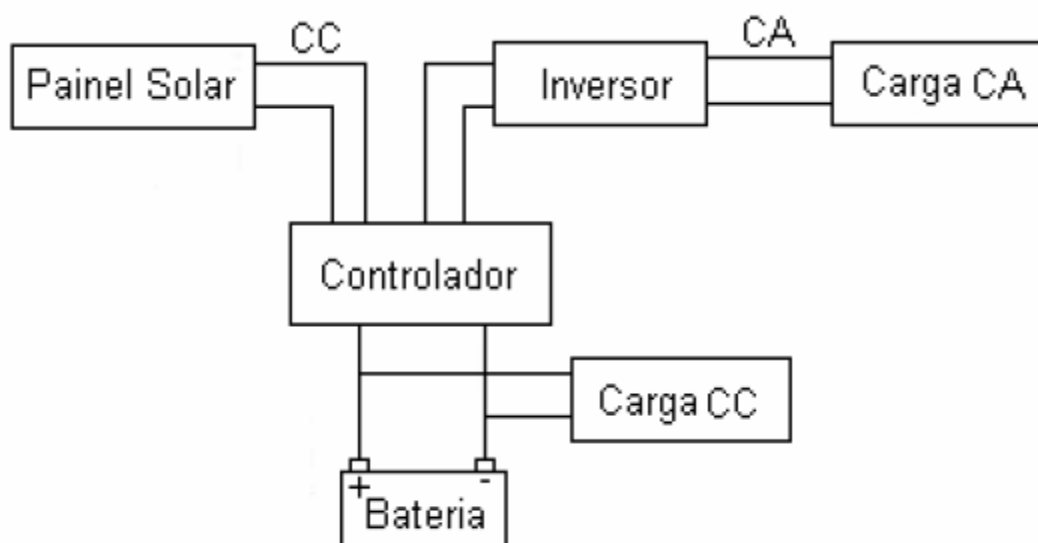


Figura 1–Desenho do Sistema Fotovoltaico

Fonte: Cunha, 2006

Um dos requisitos fundamentais para garantir o bom desempenho e durabilidade do sistema está relacionado à qualidade dos equipamentos empregados no sistema fotovoltaico. Nesse contexto, Chowdhury (2009) afirma que existe uma série de concorrência de produtos disponíveis no mercado com diferentes tipos de marcas de qualidades fornecidas por diversos fabricantes, portanto a escolha de produtos de qualidade é fundamental. E o autor continua ainda a afirmar que a maioria dos componentes utilizados nos sistemas fotovoltaicos disponíveis no mercado apresenta grandes disparidades. Sendo assim, torna-se necessário uma avaliação comparativa da qualidade desses equipamentos antes da realização da compra, cujo procedimento básico consiste em utilizar testes padrões de qualidade. Assim, os métodos de ensaio normatizados para os componentes do sistema fotovoltaico podem auxiliar na verificação do nível de qualidade dos componentes do mercado, aumentando a confiabilidade e a eficiência do sistema.

Por sua vez, Corsair (2008) destaca que os componentes de baixa qualidade afetam no desempenho e na vida útil do sistema e exigem frequente substituição de componentes, caso contrário, o sistema pode deixar de ser utilizado pelo usuário. Os componentes do sistema devem possuir qualidade comprovada por normas de certificação de qualidade para evitar transtornos de constantes

substituições ao longo de sua utilização. Essas qualidades serão identificadas através de procedimentos de controle de qualidade.

Entretanto, o mesmo autor volta a ressaltar que apenas a qualidade dos equipamentos não é suficiente para garantir a durabilidade e eficiência do sistema. Além disso, a seleção de componentes que são confiáveis e facilmente substituíveis pode ter um impacto positivo sobre o desempenho do sistema, ou seja, a utilização de configurações complexas para o sistema fotovoltaico nem sempre é a solução mais indicadas em termos técnico-econômicos, já que tornam o custo maior tanto do sistema quanto para a manutenção. Nesse contexto, Chaurey (2010) afirma ainda que uma configuração simples e eficiente deva ser buscada de forma a atender as necessidades das comunidades isoladas.

Além disso, antes da instalação de um sistema de eletrificação rural, é importante que sejam realizados testes em campo de forma a evitar falhas futuras nos sistemas instalados. Caso contrário, a credibilidade da tecnologia como fonte de energia viável para os consumidores rurais pode ser seriamente comprometida, garante Cabraal (1994). Por exemplo, em Bangladesh, verificou-se deficiência técnica dos componentes instalados nos sistemas fotovoltaicos pela incompatibilidade dos componentes, instalações defeituosas e falta de controle de qualidade.

Os componentes de baixa qualidade afetam no desempenho do sistema e sua durabilidade. Caso os componentes não sejam substituídos, o mesmo pode ser abandonado pelo usuário por falta de confiabilidade na tecnologia. Portanto, a qualidade dos equipamentos é um dos requisitos necessários para garantir o bom desempenho e durabilidade do sistema. Portanto os equipamentos empregados nos sistemas fotovoltaicos devem ser de qualidade.

Corsair (2008) argumentou que os componentes de qualidade sem instalação adequada também não garantem a durabilidade do sistema. Portanto a instalação do sistema deve ser de qualidade também para que garantam o bom desempenho do sistema.

2.3.1 O Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é o componente importante do sistema enquanto que as baterias, os controladores, as lâmpadas são componentes que mais causam problemas de funcionamento no sistema e que precisam substituições constantes. Entretanto, o módulo fotovoltaico também apresenta alguns defeitos, tais como aquecimento que são causadas pelo sombreamento nas células que pode danificá-lo, caso o problema não seja corrigido. Para evitar esse problema, Cabraal (2008) recomenda que os módulos devam ter dispositivos de proteção conhecido por diodo *by pass*.

Um sistema fotovoltaico é composto por módulos fotovoltaicos e por um conjunto de equipamentos complementares, como baterias, controladores de carga, inversor e outros equipamentos de proteção.

O módulo fotovoltaico é composto por células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente suficiente para a utilização de energia. A conversão de energia solar em energia elétrica é obtida utilizando-se material semicondutor como elemento transformador, conhecido como célula fotovoltaica ou célula solar.

2.3.2 Bateria

Os sistemas fotovoltaicos necessitam de bateria para armazenamento de energia. A energia produzida durante as horas de luminosidade é acumulada em baterias a fim de poder ser utilizada à noite ou durante períodos prolongados de menor irradiação.

As baterias de chumbo-ácido são mais utilizadas no sistema fotovoltaico individual por serem mais resistentes a descargas profundas. A qualidade da bateria é determinada pela eficiência, geralmente varia na ordem de 70% a 80%. Quanto maior é a eficiência maior é o armazenamento de energia.

Glavin (2006) aconselha que as baterias utilizadas no sistema fotovoltaico devam ser as que requeiram a mínima manutenção, o que as tornam adequadas para locais remotos.

A bateria deve ter as seguintes características:

- Elevada vida cíclica para descarga profunda;
- Necessidade de pouca ou nenhuma manutenção;
- Alta eficiência de carregamento;
- Diminuta taxa de autodescarga;
- Boa confiabilidade;
- Mínima mudança de desempenho quando trabalhando fora da

faixa de temperatura de operação determinada.

2.3.3 Controlador de Carga

O controlador de carga é um dispositivo essencial que permite o controle da carga e de descarga da bateria, evitando descargas profundas da bateria que possam comprometer a vida útil. Para Muller (2012), um controlador de qualidade tem um auto consumo de corrente inferior a 4mA e encapsulado em uma caixa robusta, com terminais de conexão e um sinalizador luminoso de todos os valores do sistema.

Na maioria dos sistemas fotovoltaicos, utiliza-se o controlador de carga com o objetivo básico de facilitar a máxima transferência de energia do painel fotovoltaico para a bateria e protegê-la contra cargas e descargas excessivas, aumentando conseqüentemente a sua vida útil.

O controlador de carga no sistema fotovoltaico deve ter as seguintes características:

- Vida útil esperada, pelo menos 10 anos;
- Chaveamento eletrônico (sem componentes eletromecânicos);
- Proteção contra inversão de polaridade;
- Desconexão de carga para proteção de baterias contra

descargas excessivas.

2.3.4 Inversor

Os sistemas fotovoltaicos autônomos geram eletricidade em corrente contínua por meio das células fotovoltaicas, a partir de luz solar. A eletricidade gerada por células fotovoltaicas diferencia-se da eletricidade convencional, fornecida pela rede elétrica. O papel principal do inversor num sistema de geração fotovoltaica é o de criar corrente alternada a partir da corrente contínua.

Os diferentes componentes do sistema fotovoltaico devem ser compatíveis entre eles e adequados ao sistema. O inversor utilizado no sistema fotovoltaico deve ter as seguintes características:

- Onda quadrada não é recomendada para o uso;
- Onda senoidal modificada é aceitável para maioria das aplicações;
- Onda senoidal pura para aplicações especiais com distorção menor que 5%.

Sabe-se que os vários componentes de um sistema são interconectados, e a integração entre eles tem implicações no desempenho do sistema como um todo. Por isso que a qualidade e compatibilidade entre as peças são indispensáveis à confiabilidade do sistema ao mesmo tempo em que governo e comunidade local devem primar por sua manutenção.

2.3.5 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

A insuficiência de energia gerada pelo sistema para o atendimento das cargas ocasionou o uso inadequado do sistema fotovoltaico por parte dos usuários, de forma que em muitas situações desligavam o controlador de carga para aumentar o tempo de utilização do sistema. Em outros casos, o mesmo fato aconteceu por não disponibilidade de peças de reposição. No levantamento feito por Cancino (2001), comprovou-se que componentes defeituosos foram substituídos por outros inapropriados; por exemplo, os fusíveis foram substituídos por arame de cobre e o regulador via conexão direta. Essas ocorrências foram justificadas por ausência de

pontos de venda de peças de reposição e a falta de informação sobre a venda de equipamentos de substituição.

Por isso, conforme Gulberg (2005), é importante que o sistema seja dimensionado corretamente a fim de atender a demanda energética das comunidades, evitando dessa forma, o sistema seja superdimensionado ou subdimensionado. Assim ambas as condições são problemas para os usuários. Os sistemas fotovoltaicos instalados nas áreas rurais, muitos deles foram superdimensionados e apresentam custos muito elevados para os usuários.

Por outro lado, no sistema subdimensionado, a geração de energia não é suficiente para atender as cargas. Por exemplo, a capacidade de bateria não é suficientemente para atender a demanda da carga por períodos previstos. As freqüentes descargas profundas contribuíram para uma rápida degradação da bateria, encurtando sua vida útil e gera grande custo para o usuário.

Segundo Cabraal (2008), o sistema fotovoltaico para eletrificação rural deve ser dimensionado a partir dos seguintes requisitos:

- A simplicidade do sistema- Simplicidade do sistema é um fator essencial que deve ser considerado no planejamento do projeto, pois as pessoas envolvidas na montagem, instalação e manutenção dos sistemas são aldeões que a maior parte não são qualificados. O sistema também teve de ser modular na natureza de modo a que a reparação e manutenção dos componentes podem ser facilmente realizadas pelos técnicos de campo.
- Baixo custo do sistema - O sistema também precisava ser acessível para a população rural o que se torna cada vez mais popular entre os usuários por ser uma alternativa economicamente viável à eletricidade convencional, devido a não necessidade de combustível, baixos custos de manutenção, e facilidade de instalação.

Além disso, para Chaurey (2010), o dimensionamento do sistema fotovoltaico deve levar em consideração as condições geográficas e climáticas do local. Os sistemas fotovoltaicos devem ser dimensionados consoantes as demandas energéticas das comunidades rurais. O sistema fotovoltaico deve ser dimensionado de acordo com as cargas a serem atendidas. O uso de dispositivo de LED na iluminação é importante para a eficiência do sistema, redução do tamanho da bateria de armazenamento, bem como o do módulo fotovoltaico, a redução da capacidade do sistema implica na redução de custo do sistema.

Portanto, no entendimento de Shahidul (2009) um sistema bem projetado para a eletrificação rural, além de garantir eficiência ao sistema, a redução dos custos com sua manutenção e satisfação dos usuários.

Os sistemas de energia solar devem ser projetados para facilitar o uso e a confiabilidade, bem como os requisitos mínimos de manutenção do sistema pelo usuário. Enquanto o módulo fotovoltaico não apresenta complicações em sua manutenção, as baterias, os controladores de carga e as lâmpadas têm uma vida útil muito menor e causam a maioria dos problemas técnicos, por isso, Cabraal (1994) volta a destacar a necessidade da aquisição de componentes de alta qualidade para o sistema.

2.4 SUSTENTABILIDADE DO PROJETO FOTOVOLTAICO

A disseminação de tecnologia fotovoltaica ocorreu principalmente através de sistemas isolados para abastecer cargas distantes das redes de distribuição de eletricidade. A tecnologia destes sistemas utilizados para energização das comunidades isoladas e sem acesso à rede convencional de distribuição de eletricidade para sistema de bombeamento de água, sistema de refrigeração e eletrificação das residências é economicamente viável para muitas localidades nas áreas rurais.

A eletrificação rural com sistemas descentralizados de energias renováveis com sistemas fotovoltaicos individuais precisa de certos parâmetros para sua própria sustentabilidade. Uma das principais razões é a falta de adaptação à tecnologia de energia renovável pelas estruturas sociais, culturais e socioeconômicas das comunidades rurais. As áreas críticas podem ser assim resumidas:

- Falta de manutenção e peças de reposição dos equipamentos; se houver uma perfeita manutenção o sistema pode funcionar por toda a vida útil do equipamento. Na maioria dos programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos, a manutenção do sistema é realizada pelo usuário que, por vezes, não tem conhecimento sobre o funcionamento do sistema. Como, por exemplo, sobre a bateria que mais apresenta falhas devido ao uso de cargas inadequadas,

ocasionando rápida degradação da vida útil. Chaurey (2010) e Fernandez (2010) destacam que para a manutenção, o usuário precisa ter conhecimento básico requerido pelo sistema. Além disso, a disponibilidade de estoques de peças sobressalentes é necessária a sua substituição. E a manutenção, por menor que seja, segundo Malek (2010), é necessária para garantir o bom funcionamento do sistema fotovoltaico além de prevenir falhas no futuro.

- Formação precária dos usuários; a educação do usuário é essencial para o sucesso do programa de eletrificação rural. Informação e formação em conceitos básicos de manutenção e os procedimentos operacionais de segurança devem ser repassadas para os usuários que terão responsabilidade sobre o sistema. Os usuários precisam entender que as formas de procedimentos operacionais nos sistemas influenciam no desempenho dos sistemas e o custo com manutenção.

- Dificuldade em aceitar a nova tecnologia; a satisfação do usuário é o alvo do programa, portanto o programa de eletrificação rural deve atender as necessidades básicas energéticas das comunidades rurais. Portanto, os sistemas devem ser dimensionados adequadamente para o atendimento dessas demandas, levando em consideração os custos e a simplicidade do sistema que facilita na operação e na manutenção do mesmo. A escolha dos componentes de qualidade é essencial para garantir o desempenho satisfatório do sistema fotovoltaico e qualidade de serviços de energia elétrica às comunidades. No entanto, o desconhecimento da tecnologia e as dificuldades na aquisição de peças levam os usuários à insatisfação e ao descrédito no sistema. Sendo assim, as expectativas dos usuários devem ser levadas em consideração para que os programas de eletrificação venham a ser sustentáveis em longo prazo.

- Monitoramento e Avaliação; na avaliação do programa de eletrificação rural consideram-se os sucessos e fracassos. Os aspectos técnicos e não técnicos são avaliados durante a execução do programa. A avaliação técnica consiste em uma análise sobre o desempenho dos sistemas fotovoltaicos, tais como funcionamento e durabilidade dos componentes. A avaliação não técnica avalia a aceitação da tecnologia por parte dos usuários. Neto (2004) garante que a avaliação proporciona subsídios para melhoria de eventuais desvios das metas do programa, bem como refinamento das estratégias de planejamento, e para, se for o caso, a efetivação de um novo dimensionamento do sistema tendo em vista os critérios levantados para sua sustentabilidade.

Para facilitar o aprendizado dos usuários, foram aplicados os materiais didáticos mais simples que contém explicações sobre os procedimentos práticos da manutenção, os problemas e as possíveis soluções, tais como a manutenção de baterias, interpretação das informações constantes no painel, controle de gerenciamento de carga, substituição de fusíveis e lâmpadas. Segundo Schillebeecks (2012), essa prática facilita o aprendizado e contribui para a redução dos custos de manutenção e à durabilidade do sistema.

Ainda assim, Cabraal (2008) afirmou que é fundamental criar uma equipe técnica profissional constituída por pessoas da comunidade local, através de treinamento mais específico e equipado adequadamente para prestar serviços de manutenção dos sistemas instalados no meio rural quando solicitada pelas comunidades.

No entanto, Lahimer (2013) constata que muitos programas de eletrificação rural fracassaram em áreas remotas por causa da falta de técnicos qualificados para instalar e manter o sistema e pela dificuldade na aquisição de peças de reposição.

Inspeções em campo revelaram diferentes estados em que se encontravam os sistemas instalados nos centros de saúde das áreas rurais de Guyana. Em alguns dos casos, constatou-se que o sistema fotovoltaico encontrava-se em condições precárias: acúmulo de sujeiras na superfície, fungos no painel, sombreamento (como plantas ao redor do sistema). Em outros casos, verificou-se que a bateria não foi substituída mesmo que sua vida útil tenha terminado; poucos sistemas que receberam manutenção continuam funcionando.

Para garantir os serviços de atendimento de energia elétrica nos centros de saúde, Langevine (1997) recomenda a imediata manutenção, reparação e substituição de componentes do sistema por parte do governo, enquanto que o sistema individual nas áreas rurais, a responsabilidade seria dos usuários, inclusive arcando com os custos financeiros, que poderiam tornar-se menos onerosos mediante a criação de um fundo coletivo.

Para garantir a sustentabilidade dos sistemas fotovoltaicos é necessário que sejam integrados nos processos de planejamento do governo local subsídios orçamentários para operação, manutenção e gestão dos sistemas de energia.

Os principais órgãos e agências que contribuem para o financiamento dos projetos de eletrificação rural consistem no governo, doadores internacionais e

microempresas locais. As comunidades locais, por sua vez, contribuem apenas com uma pequena parcela do investimento. Neste contexto, destaca-se que mais de 90% do financiamento provém de fontes governamentais e de doadores internacionais. Na China, por exemplo, o programa de eletrificação é financiado pelo governo central e local. O governo central investe cerca de 50% ou mais do montante total necessário para o projeto, de forma que o restante é subsidiado pelo governo local, informa Javadi (2012). Por sua vez, Mahama (2012) destaca que os programas de sistemas fotovoltaicos isolados necessitam ser subsidiados com taxas que variam entre 25% e 50% do valor total.

Os subsídios para os serviços de fornecimento de energia elétrica para usuários pobres têm sido um importante instrumento para se alcançar os objetivos do programa. Esses fundos são canalizados através de concessionárias na forma de subvenções e empréstimos. O governo oferece apoio financeiro às concessionárias que por sua vez repassam este benefício aos usuários na forma de prestação de serviços de energia com tarifas mais baixas. Em outras palavras, os subsídios são vistos como um mecanismo para manter os preços da eletricidade abaixo dos níveis de mercado para as famílias pobres e reduzir os custos tanto para usuários finais como para as concessionárias. Gomez (2012) garante que subsídios são considerados como essenciais para assegurar o desenvolvimento do país, beneficiando os grupos mais vulneráveis e a redução das desigualdades sociais.

Assim, para sistemas solares domésticos que foram doados como forma da prática de desenvolvimento econômico e sustentável, é fundamental para Corsair (2009) que os beneficiários possuam recursos financeiros suficientes para futuros gastos com a manutenção do sistema, que geralmente consiste em substituir os componentes de maneira periódica.

Os riscos mais graves são os programas e projetos que não dispõem de subsídios após a instalação dos sistemas. A pesquisa apresentada por Schillebeeckx (2012) sugere que sistemas que não são subsidiados pelo governo, apresentam desvantagens em longo prazo relacionadas à sustentabilidade. O autor afirma ainda que poucos projetos de eletrificação rural obtiverem sucesso sem o apoio financeiro e político do governo.

2.5 MONITORAMENTO DO SISTEMA

Os projetos de eletrificação rural com energia solar fotovoltaica devem ser monitorados após a instalação de forma a se verificar a qualidade no fornecimento de energia, além da satisfação dos usuários. Em outras palavras, os resultados provenientes do monitoramento servem como base para verificar se os objetivos do programa estão sendo atingidos, permitindo que melhorias possam ser realizadas nos projetos futuros (MILLINGER, 2012).

É importante ressaltar ainda que a obtenção dos parâmetros por meio do monitoramento é fundamental para a manutenção do sistema fotovoltaico. Nesse contexto, destaca-se que os principais parâmetros a serem monitorados são: a tensão de circuito aberto, a corrente de curto-circuito, a potência máxima, o tipo de célula, a temperatura, a radiação solar, o sombreamento, entre outras.

O monitoramento dos sistemas fotovoltaicos e a coleta de dados podem ser realizados via sistemas de controle remoto através de um sistema de aquisição de dados instalados no local do arranjo fotovoltaico. Ainda, destaca Polomino (2002), que é possível obter as informações do sistema em tempo real através de sistemas de telecomunicações. No entanto, Ranhotigamage (2011) informa que a utilização de monitoramento em tempo real apresenta algumas limitações técnicas e econômicas, sobretudo, relacionadas à capacidade, ao alcance, à eficiência e à confiabilidade do sistema.

Atualmente, o avanço tecnológico permitiu o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de desempenho de painéis solares com sensores sem fio. O sistema é capaz de detectar a existência da maior parte dos problemas no funcionamento do painel solar. Por exemplo, caso o sistema não esteja gerando energia, mesmo na presença de radiação solar; o problema pode estar relacionado ao painel, na célula fotovoltaica ou ainda pode ser devido ao sombreamento. Nessa condição, o dispositivo codifica a informação através de sinalização sonora, que é identificado pelo usuário e que muitas vezes não se torna necessária o comparecimento da equipe técnica no local onde estão instalados os painéis solares, contudo não se deve descuidar de sua avaliação continuada.

O programa de eletrificação rural deve atender as necessidades básicas energéticas das comunidades rurais de forma a se obter a satisfação do usuário,

que consiste em um dos principais focos do programa. Para isso, os sistemas devem ser dimensionados adequadamente para o atendimento dessas demandas, levando em consideração fatores como os custos e a simplicidade do arranjo fotovoltaico, o que implica em facilitar a operação e manutenção futura dos sistemas.

É interessante destacar, anota Schilibeeckx (2012), que a escolha dos componentes de qualidade é essencial para garantir o bom desempenho do sistema fotovoltaico, embora a aquisição desses componentes tenha que levar em consideração também a capacidade financeira dos futuros usuários.

2.6 AVALIAÇÃO DO PROGRAMA

Os programas de eletrificação rural devem ser avaliados após a sua instalação para verificar aspectos de sucesso ou fracasso durante a execução do programa. Existem duas categorias básicas para avaliação: a primeira consiste em aspectos técnicos e a segunda em aspectos não-técnicos.

No caso da avaliação técnica o objetivo principal é avaliar o estado físico e operacional do sistema fotovoltaico, verificando características como o estado de funcionamento e a vida útil dos componentes. Já na avaliação não-técnica, analisam-se aspectos como a aceitação da tecnologia por parte dos usuários, o grau de satisfação dos usuários, treinamento e capacitação dos usuários, disponibilidade local de peças de reposição e serviços de manutenção. Essas informações são úteis “para melhoria de eventuais desvios das metas do programa, bem como refinamento das estratégias de planejamento, visando à sustentabilidade do programa” (HAUCUZ, 1994). Ainda de acordo com Caabral (1994) é fundamental avaliar se os recursos financeiros foram aplicados de forma eficiente e que de acordo com o autor isso pode ser realizado por meio de auditoria financeira.

2.7 POLÍTICAS DE ELETRIFICAÇÃO RURAL

As políticas, programas e projetos devem começar a partir de uma avaliação das necessidades comunitárias, em vez de um plano para promover uma tecnologia particular. Para Els (2011), assim como para o Ministério de Minas e Energias do Peru (2013), as necessidades de diferentes comunidades rurais variam muito, e se deve encontrar tecnologias apropriadas e estratégias de implantação eficazes e específicas para cada local.

A política de eletrificação rural prevê as principais áreas de atuação tais como assistência técnica, políticas, educação e capacitação e fortalecimento e criação de instituições de pesquisa, desenvolvimento e aplicação de tecnologias de energia solar. No entender de Chaurey (2010), deve-se encorajar o uso de energia renovável através da realização de campanhas de socialização e disseminação de tecnologia através de demonstração de projetos pilotos de aplicações fotovoltaicas em diversos setores, como o bombeamento de água, controle remoto de estações meteorológicas, de travessia ferroviária, de canais televisivos e de telefone rural, detecção sísmológica, e demais aplicações industriais rurais.

O objetivo dos programas de eletrificação, muitas vezes, toma uma amplitude demasiada em termos de critérios administrativos, tais como o fornecimento de acesso à energia elétrica para a população rural, em vez de buscar resultados mais específicos, como o aumento da capacidade dos usuários para gerar renda e maiores oportunidades dirigido à educação.

Bhandari (2010) acredita que a remoção parcial do subsídio do querosene poderia levar a um mais rápido crescimento da eletrificação a partir de fontes renováveis. Estes resultados da pesquisa do autor poderiam fornecer subsídios valiosos para futuros programas de eletrificação rural a partir de fontes renováveis, o que reduziria a pobreza e aumentaria a inclusão social.

Para corroborar esta ideia, pode-se considerar o exemplo da África do Sul, onde o governo fornece infraestrutura básica, destacando-se a eletricidade, a fim de promover o bem-estar social, mormente aos grupos de baixa renda que não tinham acesso à energia elétrica. Atualmente o governo sul-africano conseguiu garantir o acesso à energia elétrica a todas as comunidades, afirma o mesmo autor. Ainda segundo o autor, entre 2 e 3 milhões de moradias tiveram acesso a

eletricidade por meio do sistema fotovoltaico com capacidade de 50Wp, suficiente para gerar energia para lâmpadas (3-4), rádio e TV. Na Índia, há também os esforços das autoridades públicas para eletrificar áreas rurais no intuito de reduzir a desigualdade social endêmica no país.

A concepção de programas de eletrificação rural baseados em energias renováveis nos países em desenvolvimento, no entendimento de Chain (2012), deve considerar a capacitação de pessoal local na nova tecnologia (formação técnica de sistemas de energias renováveis, apoio técnico); apoio financeiro (a tarifa de energia elétrica, sistemas de cobrança de energia elétrica, fontes financeiros para manutenção, reparo e substituição de peças); recursos humanos (formação, participação da comunidade e técnico operador), e termos institucionais (como a qualidade da governança, quadro institucional e regulamentar) para garantir o fornecimento sustentável de energia elétrica em áreas rurais remotas.

Como o objetivo primordial deste trabalho trata-se do desenvolvimento e aplicação de uma ferramenta capaz de avaliar a sustentabilidade dos programas de eletrificação rural, considera-se mais apropriada à análise, a adoção do método *fuzzy* TOPSIS.

2.8 FUZZY TOPSIS

Fuzzy TOPSIS é um dos métodos clássicos utilizados para avaliar o desempenho das alternativas através da similaridade com solução ideal. De acordo com essa técnica, a melhor alternativa seria aquela que está mais próxima da solução ideal positiva (SIP) e mais distante da solução ideal negativa (SIN). A solução Positiva Ideal é a solução que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo, ao passo que a Solução Negativa Ideal é a solução que maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefícios, onde a proximidade relativa para cada alternativa é avaliado com base em operações aritméticas difusas, aplicando números difusos triangulares para medição das distâncias euclidianas entre dois números difusos.

Além disso, o método permite também quantificar o grau de imprecisão (incerteza) de uma informação e traduzir para um modelo matemático. Por isso, as

informações devem ser coletadas e inseridas no programa *fuzzy* TOPSIS, que utiliza a Lógica *fuzzy* para análise dos dados.

A Lógica *fuzzy* é uma extensão da lógica tradicional baseada na teoria dos Conjuntos *fuzzy*. É uma generalização da teoria dos Conjuntos Tradicionais para resolver os paradoxos gerados a partir da classificação “verdadeira ou falsa” da Lógica Clássica. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos: ou “completamente verdadeiro” ou “completamente falso”. Entretanto, na Lógica *fuzzy*, uma premissa varia em grau de verdade de 0 a 1, o que leva a ser parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa. Por isso, segundo Kultu (2011), esse método é usado na resolução de problemas de tomada de decisão com dados incertos.

Para melhor exemplificar a praticidade da Lógica *fuzzy*, aponta-se a seguir algumas de suas características fundamentais.

Definição 1: Um conjunto nebuloso \tilde{A} em um universo de X é caracterizado por uma função de pertinência $\mu_{\tilde{A}}(x)$ que associa cada elemento x em X , um número real no intervalo de $[0; 1]$. A função $\mu_{\tilde{A}}(x)$ é denominada como grau de pertinência de x em \tilde{A} .

Definição 2: Um número *fuzzy* \tilde{a} pode ser definido por uma tripla $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$, cujo esquema conceitual e fórmula matemática são apresentados pela Equação (1):

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 < x < a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 < x < a_3 \\ 0, & a_3 < x \end{cases} \quad (1)$$

Um número *fuzzy* triangular A no universo de X de acordo com esta definição é mostrado na Figura 2.

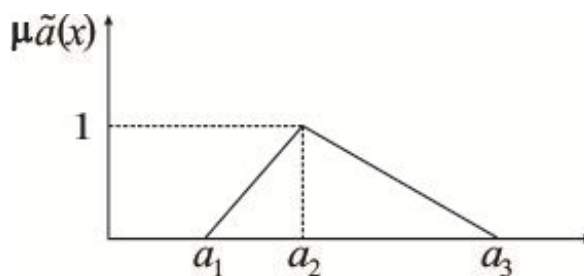


Figura 2– Número fuzzy Triangular

Definição 3: A distância entre os membros de dois números difuso triangular, seja $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ e $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ pode ser calculada pela Equação

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} \left[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2 \right]} \quad (2)$$

2.8.1 Peso subjetivo e objetivo

Na tomada de decisão de múltiplos critérios (MCDM), os pesos de atributos refletem a importância relativa no processo de tomada de decisão. Como a avaliação de critérios implica diversidade de opiniões e significados, não se pode assumir que avaliação de cada critério é de igual importância.

Existem duas categorias de métodos de ponderação: método subjetivo e objetivo. O método subjetivo é utilizado para determinar pesos dos critérios e das alternativas de acordo com a preferência ou julgamento dos especialistas e dos tomadores de decisão e o método objetivo consiste na computação matemática.

Para garantir que o resultado da avaliação será afetado pela ponderação, tanto os métodos de ponderação subjetiva quanto os métodos de ponderação objetiva são utilizados na comparação. A ponderação subjetiva baseia-se na experiência e julgamento do tomador de decisão, enquanto que a ponderação objetiva, na computação matemática. A ponderação objetiva é aplicável para situações onde os pesos subjetivos não podem ser obtidos.

O método de entropia leva em consideração os valores obtidos por cada alternativa em cada critério, dando maior importância aos critérios nos quais as alternativas diferem mais significativamente entre elas. Portanto quando o

desempenho das alternativas é similar em m dado critério, a entropia devida a este critério será alta e o peso deste critério, conseqüentemente, será baixo representando que a significância desse critério é baixa.

Como se pode perceber, os diversos especialistas foram praticamente unânimes em destacar a importância do sistema fotovoltaico para os programas de eletrificação rural em diversos países. Por outro lado, o atendimento energético às comunidades rurais faz com que haja uma melhoria de qualidade de vida das pessoas assistidas. Destaca-se também a importância das ações governamentais para a sustentabilidade desses programas, objetivo maior deste trabalho, cuja aplicação de critérios e análise através do método *fuzzy* TOPSIS, procura-se a melhoria do programa implantado em Timor-Leste.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentadas as etapas empregadas na criação do método para avaliar o nível de sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos individuais (PERSFI's) e os aspectos do estudo de caso utilizado para aplicar o método proposto.

O método para avaliar o nível de sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos individuais (PERSFI's) consiste em três etapas principais: elaboração do instrumento de avaliação, coleta de informações e modelo matemático de avaliação do nível de sustentabilidade.

3.1 ELABORAÇÃO DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO

A elaboração do instrumento de avaliação se utiliza da riqueza de informações dos diferentes PERSFI's implantados ao redor do mundo em relação à diversidade de ambientes climáticos, condições socioeconômicas e culturais. Os trabalhos selecionados são apresentados no Quadro 2.

País	Autores
Afeganistão	Mainali e Silveira (2013)
África	Tsikalakiset <i>al.</i> (2010)
Bangladesh	Rahman <i>et al.</i> (2013a); Rahman, <i>et al.</i> (2013b)
Brasil	Els <i>et al.</i> (2011); Obeimaier <i>et al.</i> (2012);
China	Zhang <i>et al.</i> (2010); Bhattacharyya <i>et al.</i> (2011); Luo <i>et al.</i> (2012)
Filipinas	Hong <i>et al.</i> (2011)
Gana	Mahama <i>et al.</i> (2012)
Malásia	Lahimer <i>et al.</i> (2011); Javadi <i>et al.</i> (2012).
Marrocos	Carrasco <i>et al.</i> (2012);
Nepal	Poudelet <i>al.</i> (2013);
Tailândia.	Schillebeeckset <i>al.</i> (2012).
Bolívia	Fernandez (2010)
Perú	Ministerio de Energia y Minas (2013)

Quadro 2– Trabalhos de PERSFI's selecionados para criação do instrumento de avaliação.

As experiências obtidas com esses programas de eletrificação rural permitiram identificar o conjunto de temas necessários à sustentabilidade de programas desta natureza.

Pode-se observar que os trabalhos escolhidos para a construção do instrumento de avaliação são trabalhos recentes e envolvem países da América, África e Ásia o que contribui na abrangência do instrumento de avaliação da sustentabilidade.

3.1.1 Análise Crítica dos Trabalhos Selecionados

A análise crítica foi desenvolvida a partir das informações relatadas nos artigos do Quadro 2 com a finalidade de se identificar: boas práticas, isto é, aquelas ações que contribuíram de forma positiva com a implantação do PERSFI; e oportunidades de melhoria, situações relatadas como potenciais causas de dificuldade na implantação de PERSFI e que deveriam ser evitadas em novos programas.

O resultado da análise crítica é o agrupamento das boas práticas e oportunidades de melhoria, em conjuntos relativos ao mesmo tema. Estes conjuntos de temas são as dimensões que afetam a sustentabilidade dos PERSFI's.

3.1.2 Elaboração das Questões e Alternativas

A elaboração das questões e alternativas que compõe o instrumento de avaliação foi realizada para cada uma das dimensões identificadas na etapa de análise crítica. As boas práticas e oportunidades de melhoria pertencentes a uma mesma dimensão foram reestruturadas na forma de questões e alternativas para que fosse possível obter informações para realizar a avaliação da sustentabilidade desta dimensão.

3.2 COLETA DE INFORMAÇÕES

Nesta seção são descritos os procedimentos utilizados na seleção dos especialistas e na coleta das informações necessárias ao desenvolvimento no método proposto.

3.2.1 Seleção dos Especialistas

Para avaliação da importância das questões foram selecionados para a coleta de informações os autores e co-autores dos 16 artigos apresentados no Quadro 2 que tratavam da temática deste trabalho. Os autores destes artigos foram identificados como os especialistas capazes de avaliar as questões elaboradas para cada uma das dimensões. Desta forma, criou-se um banco de dados com as informações destes pesquisadores e atribuiu-se a cada um, a dimensão correspondente ao seu perfil de autor.

3.2.2 Coleta de Informações das Questões

Para avaliar a importância das questões elaboradas em cada dimensão utilizaram-se os formulários constantes no *Google drive*, que foram encaminhados por e-mail aos especialistas vinculados à determinada dimensão com um texto explicativo anexo.

Para realizar a avaliação os especialistas foram questionados em relação à importância das questões apresentadas tendo em vista a sustentabilidade de programas de eletrificação rural mediante a utilização de painéis fotovoltaicos individuais.

Tabela 1 – Variáveis linguísticas e números triangulares *fuzzy* correspondentes utilizados na avaliação da importância das questões

Variável Linguística	Número Triangular <i>fuzzy</i>
<i>VeryLow (VL)</i>	(0; 0; 0,2)
<i>Low (L)</i>	(0,05; 0,2; 0,35)
<i>Medium Low (ML)</i>	(0,2; 0,35; 0,5)
<i>Medium (M)</i>	(0,35; 0,5; 0,65)
<i>Medium High (MH)</i>	(0,5; 0,65; 0,8)
<i>High (H)</i>	(0,65; 0,8; 0,95)
<i>Very High (VH)</i>	(0,8; 1; 1)

Utilizou-se o conjunto de variáveis linguísticas com os respectivos equivalentes em números triangulares *fuzzy* adotados no trabalho de Wang e Lee (2009) para que os especialistas pudessem apresentar os seus julgamentos. A escala de avaliação foi empregada em outros trabalhos de pesquisa com o método de *fuzzy* TOPSIS. A Tabela 1 apresenta a escala adotada, assim como seus números *fuzzy* correspondentes.

A utilização da ferramenta de formulários do Google drive possibilitou-se agilidade e rapidez no envio e na recuperação dos dados fornecidos pelos especialistas.

3.2.3 Coleta de Informações das Alternativas

Para avaliar a importância das alternativas de cada questão para a sustentabilidade dos PERSFI's adotou-se o mesmo procedimento aplicado na coleta de informações das questões. Para realizar a avaliação os especialistas foram questionados em relação à importância das alternativas de cada questão para a sustentabilidade de programas de eletrificação rural com a utilização de painéis fotovoltaicos individuais. Utilizou-se o conjunto de variáveis 49 linguísticas com os respectivos equivalentes em números triangulares *fuzzy* adotados no trabalho de Wang e Lee (2009) para que os especialistas pudessem apresentar os seus julgamentos. A escala de avaliação foi empregada em outros trabalhos de pesquisa com o método de *fuzzy* TOPSIS. A Tabela 2 apresenta a escala adotada, assim como seus números triangulares *fuzzy* correspondentes.

Tabela 2– Variáveis linguísticas e números triangulares *fuzzy* correspondentes utilizados na avaliação da importância das alternativas

Variável Linguística	Número Triangular <i>fuzzy</i>
<i>VeryPoor (VP)</i>	(0; 0; 0,2)
<i>Poor (P)</i>	(0,05; 0,2; 0,35)
<i>Medium Poor (MP)</i>	(0,2; 0,35; 0,5)
<i>Fair (F)</i>	(0,35; 0,5; 0,65)
<i>MediumGood (MG)</i>	(0,5; 0,65; 0,8)
<i>Good (G)</i>	(0,65; 0,8; 0,95)
<i>VeryGood (VG)</i>	(0,8; 1; 1)

3.3 MODELO MATEMÁTICO DA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE

Nesta seção são descritos os procedimentos utilizados no tratamento das informações obtidas com os especialistas e as ferramentas matemáticas que compõe o método proposto.

3.3.1 Agregação das Informações Obtidas

O tratamento das informações obtidas com os diferentes especialistas é uma etapa fundamental na elaboração do método de avaliação do nível de sustentabilidade de PERSFI.

Com as informações obtidas de cada especialista na forma de variável lingüística, realizou-se a conversão em número triangular *fuzzy* com a escala apropriada, conforme descrito na seção 3.2.1. Cada especialista elaborou uma matriz de decisão referente à sua avaliação das questões (pesos) e alternativas, a agregação é o procedimento matemático empregado para obter uma única matriz de decisão. O operador de agregação utilizado neste trabalho foi adaptado de Roghanian *et al.* (2010) o qual apresenta a característica de preservar informação. Para se obter o número triangular *fuzzy* $v_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ agregado utilizou-se as

equações (2), (3), (4), nessas equações o índice i representa as alternativas, o índice j denota as questões e índice k representa os especialistas.

$$a_{ij} = \text{mín}_k (a_{ij}^k) \quad (3)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k b_{ij}^k \quad (4)$$

$$c_{ij} = \text{máx}_k (c_{ij}^k) \quad (5)$$

Todas as operações realizadas com as equações (3), (4), (5) foram realizadas no *software* Microsoft Excel versão 2010.

3.3.2. Aplicação do *Fuzzy* TOPSIS

O método *fuzzy* TOPSIS foi empregado no tratamento dos dados agregados por determinar a distância entre as respostas avaliadas como as mais apropriadas pelos especialistas (solução ideal) e as respostas fornecidas pelos usuários do método proposto.

As principais adaptações consideradas para aplicação do *fuzzy* TOPSIS no método proposto foram as seguintes: as questões do instrumento de avaliação assumem o papel dos critérios no *fuzzy* TOPSIS tradicional; as alternativas são as próprias alternativas do instrumento de avaliação; aplicam-se as equações (5), (6), (7), (8) e (9) do *fuzzy* TOPSIS como descrito em Aydogan (2011) e os coeficientes de proximidade (CC) de cada questão foram considerados individualmente.

As equações (5), (6), (7) e (8) do *fuzzy* TOPSIS, descritas por Aydogan (2011), nestas equações o índice i representa as alternativas enquanto que o índice j denota as questões.

O peso das questões foi obtido a partir da avaliação dos especialistas e agregado com base na equação (2), (3) e (4), sendo o número triangular *fuzzy* (w_{aj} , w_{bj} , w_{cj}).

A matriz ponderada é obtida pela multiplicação do peso agregado de cada questão pelo desempenho agregado das alternativas. A equação (6) demonstra essa operação de números triangulares *fuzzy*.

$$v_{ij} = (w_{aj} \cdot a_{ij}, w_{bj} \cdot b_{ij}, w_{cj} \cdot c_{ij}) \quad (6)$$

Com base na equação (6) é possível calcular a distância de cada alternativa em relação à solução ideal positiva e negativa. Neste trabalho adotaram-se os valores absolutos para a solução ideal positiva A^+ é o vetor $v_j^* = (1, 1, 1)$ enquanto que a solução negativa ideal A^- é o vetor $v_j^- = (0, 0, 0)$. As equações (7) e (8) apresentam os cálculos das distâncias.

$$d_i^* = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot [(v_{ij} - v_j^*)^2 + (v_{ij} - v_j^*)^2 + (v_{ij} - v_j^*)^2]} \quad (7)$$

$$d_i^- = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot [(v_{ij} - v_j^-)^2 + (v_{ij} - v_j^-)^2 + (v_{ij} - v_j^-)^2]} \quad (8)$$

Com os dados obtidos nas equações (6) e (7) determinou-se os coeficientes de proximidade (C_i^*) de cada alternativa. A alternativa com o maior valor de coeficiente de proximidade apresenta-se como melhor opção de acordo com a avaliação dos especialistas consultados. A equação (9) apresenta o procedimento de cálculo do coeficiente de proximidade.

$$C_i^* = d_i^- / (d_i^* + d_i^-) \quad (9)$$

O coeficiente de proximidade (C_i^*) de cada alternativa é a base para o cálculo do índice de sustentabilidade. Todas as operações com as equações (6), (7), (8) e (9) foram realizadas mediante a utilização de alguns programas computacionais.

O coeficiente de proximidade (cc) é a medida distância entre as respostas avaliadas como as mais apropriadas pelos especialistas (solução ideal) e as respostas fornecidas pelos usuários do método proposto.

3.3.3 Índice do Nível de Sustentabilidade

O índice do nível de sustentabilidade de cada dimensão (IS) de cada dimensão é obtido a partir dos valores máximos dos coeficientes de proximidade (C_i^*) das alternativas de cada questão (solução ideal, de acordo com os especialistas) em relação aos valores dos coeficientes de proximidade (C_i^*) destacados durante a avaliação de determinado programa de eletrificação rural com utilização de painéis fotovoltaicos individuais. As equações (10) e (11) apresentam o cálculo para a obtenção do índice do nível de sustentabilidade de cada dimensão e o índice do nível de sustentabilidade global do programa respectivamente. Nestas equações o índice i representa as alternativas, o índice j denota as questões e índice t representa as dimensões.

$$IS_i = \left(\sum_{j=1}^n (C_i^*)^j - \sum_{j=1}^n \text{mín}_j (C_i^*)^j \right) / \left(\sum_{j=1}^n \text{máx}_j (C_i^*)^j - \sum_{j=1}^n \text{mín}_j (C_i^*)^j \right) * 100 \quad (10)$$

$$IS = \left(\prod_{t=1}^t (IS_t) \right)^{1/t} \quad (11)$$

Todas as operações realizadas com as equações (10) e (11) foram realizadas no *software* Microsoft Excel versão 2010.

3.4 ESTUDO DE CASO

Para fins de aplicação do método proposto neste trabalho escolheu-se o programa de eletrificação rural do Timor-Leste. Um dos motivos para tal escolha é que existe um ótimo relacionamento entre a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a Equipe Governamental do Timor responsável pelo programa de eletrificação rural no país.

Apresentaram-se nesta seção as principais características do setor energético do Timor-Leste.

3.4.1 Avaliação do Nível de Sustentabilidade do Programa Eletrificação Rural do Timor-Leste

Para se aplicar o método proposto para avaliar o Programa de Eletrificação Rural do Timor-Leste foi enviado um e-mail ao Secretário de Estado de Eletricidade Água e Urbanização o Sr. Januario da Costa Pereira. Com base nas informações obtidas foi possível realizar o preenchimento das questões e obter os índices de sustentabilidade para as diferentes dimensões e o índice de sustentabilidade geral do Programa de Eletrificação Rural do Timor-Leste.

3.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO PARA TOMADA DE DECISÃO

Nessa seção desenvolveu-se um conjunto de simulações com a finalidade de verificar o efeito da alteração de alternativas selecionadas em relação ao nível de sustentabilidade de cada dimensão e, em relação ao nível de sustentabilidade global do programa de eletrificação rural de Timor-Leste. Para a simulação foram utilizadas as seguintes etapas: identificação das alternativas que tiveram baixos coeficientes de proximidade; seleção das alternativas com maior índice de coeficiente de proximidade. O objetivo das simulações foi identificar as possíveis ações que deveriam ser empregadas pela administração do programa de eletrificação rural do Timor-Leste para alterar o quadro de baixa sustentabilidade do programa (situação real do programa) para um quadro de sustentabilidade melhorado (situação desejada) e deste modo contribuir para a melhoria dos níveis de sustentabilidade das dimensões e o nível de sustentabilidade global do programa de eletrificação rural do Timor-Leste.

4. RESULTADOS

4.1 INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO

Foram selecionados 15 artigos sobre eletrificação rural de diversos países. Os artigos foram analisados sob a ótica dos critérios que influenciam a sustentabilidade dos programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos. As características e os critérios identificados nos artigos foram utilizados como base para a fundamentação metodológica deste trabalho. Esta etapa se utiliza da riqueza de informações dos PERPF implantados ao redor do mundo em relação à diversidade de ambientes climáticos, condições sócio-econômicas e culturais. As experiências obtidas com esses programas de eletrificação rural permitem identificar as dimensões necessárias à sustentabilidade de programas desta natureza. Um resumo geral das características de programas de eletrificação rural selecionados são apresentados no Quadro 3.

(Continua)

Autor/ano	País	Características do programa
1. Antonis Tsikalakis, T. Tomtsi, N.D. Hatziargyriou, A. Poullikkas, Ch. Malamatenios, E. Giakoumelos, O. Cherkaoui Jaouad, A. Chenak, A. Fayek, T. Matar, A. Yasin, 2010.	África	Praticamente, após suas análises, os autores definiram que para a implantação do programa de eletrificação rural se faz necessária a atribuição de responsabilidades às comunidades locais para gestão do sistema e alocação dos recursos financeiros para os projetos.
2. Xilin Zhang, Ashok Kumar, 2010. Subhes C. Bhattacharyya, Sanusi Ohiare, 2011.	China	Os autores mencionaram também os recursos financeiros do programa, o controle de qualidade dos equipamentos, os investimentos requeridos para manutenção dos equipamentos, fluxo de caixa para compra de componentes e pagamento pelos serviços de manutenção.
3. Rudi Henri van Els, João Nildo de Souza Vianna, Antonio Cesar Pinho Brasil Jr, 2011. Martin Obermaier, Alexandre Szklo, Emilio Lebre La Rovere, Luiz Pinguelli Rosa, 2012.	Brasil	Em relação ao Brasil, os autores destacaram a atenção a ser dispensada às questões técnicas do programa de eletrificação rural, gestão comunitária, apoio da agência local na execução e supervisão dos projetos. Além disso, apontam os subsídios financeiros contemplados no programa para manutenção dos sistemas em funcionamento em longo prazo.
4. George William Hong, Naoya Abe, 2011	Filipinas	Os autores avaliaram a gestão financeira do projeto e o nível de satisfação dos usuários em relação aos serviços de energia.

(conclusão)

5.A.A.Lahimer, M.A.Alghoul, FadhilYousif, T.M.Razykov, N.Amin, K.Sopian, 2011.	Malásia	A avaliação da satisfação dos beneficiários em relação ao fornecimento de energia mereceu a análise destes autores, assim como os critérios de seleção dos usuários.
6. L.M. Carrasco, L.Narvarte, E.Lorenzo, 2012.	Marrocos	Os autores identificaram os desafios encontrados no processo de implantação dos sistemas instalados no meio rural, e os benefícios oferecidos pelo programa. Avaliou o padrão de consumo de energia das famílias rurais e identificou os critérios que influenciam no sucesso e na sustentabilidade do projeto de eletrificação rural em Marrocos.
7. F.S. Javadi, B.Rismanchi, M.Sarraf, O.Afshar, R.Saidur, H.W.Ping, N.A.Rahim., 2012.	Malásia	O autor falou da política do governo sobre a eletrificação rural, dos critérios para seleção das localidades a serem eletrificadas, e dos recursos investidos na implantação de projetos de eletrificação rural em Malásia.
8.Guo-liangLuo, Yi-weiGuo, 2012.	China	A necessidade de investimento para manutenção dos equipamentos, atribuição de poder ao governo local para gestão e administração de projetos instalados nas comunidades rurais chinesas foram destacadas pelos autores.
9.Amadu Mahama, 2012.	Ghana	Mahama conclui também pela necessidade de investimento no programa, dos cursos de capacitação e do treinamento dos usuários e formação de grupos comunitários para gestão.
10. Simon J.D. Schillebeeckx, Priti Parikh, Rahul Bansal, Gerard George, 2012	Tailândia.	Novamente, estes autores destacam a qualidade dos equipamentos e a responsabilidade da comunidade na gestão e operação dos sistemas de geração de energia.
11.BrijeshMainali, SemidaSilveira, 2013	Afeganistão	Mais uma vez, os autores destacam a necessidade de subsídios para a manutenção do sistema.
12.Ram C Poudel, 2013	Nepal	Ram aponta a falta de infraestrutura (estrada), de técnicos qualificados para manutenção do sistema e de recursos financeiros.
13.Md. MizanurRahmanJukkaV.Paatero, AdityaPoudyal, RistoLahdelma, 2013.Rahman, 2013.	Bangladesh	Os autores apresentaram critérios que auxiliam na escolha de tecnologias adequadas às condições das localidades e seleção das comunidades e gestão do sistema. Discorreram sobre o investimento do programa, a necessidade de estoques de peças, e o acompanhamento periódico dos sistemas instalados nas comunidades rurais em Bangladesh. Enquanto que Rahman abordou a seleção de tecnologias de fontes de energias renováveis, formação de quadros institucionais para o programa de eletrificação rural e a fiscalização dos projetos de Bangladesh.
14. Fernández (2010)	Bolívia	O autor abordou os critérios para seleção da tecnologia de energias renováveis para as áreas rurais, a saber: conhecimento do usuário local para o uso; instalação, operação e manutenção do sistema; disponibilidade de equipamentos de reposição; pessoal técnico no local e garantia de equipamentos aos usuários.
15. Ministerio de Minas y Energias (2013)	Peru	Abordaram-se os critérios para seleção das comunidades atendidas pelo sistema fotovoltaico; o uso de energia elétrica para atividades produtivas e recursos financeiros.

Quadro 3– Características do programa de eletrificação rural dos artigos selecionados

Pode se observar a grande diversidade de aspectos levantados pelos autores, que influenciam o sucesso dos programas de eletrificação rural, nos programas identificados por meio do quadro 3.

(Continua)

Autor/ano	Aspectos de influência sobre a sustentabilidade
AntonisTsikalakis, T. Tomtsi, N.D. Hatziargyriou, A. Poullikkas, Ch. Malamatenios, E. Giakoumelos, O. CherkaouiJaouad, A. Chenak, A. Fayek, T. Matar, A. Yasin, 2010.	<ul style="list-style-type: none"> - Gestão do sistema por comunidade local - Recursos financeiros do programa - Partes envolvidas no programa
Xilin Zhang*, Ashok Kumar, 2010.	<ul style="list-style-type: none"> - Seleção de tecnologias - Controle de qualidade - Manutenção do sistema - Gestão do sistema instalado - Dimensionamento do sistema - Financiamento do programa
SubhesC.Bhattacharyya, SanusiOhiare, 2011.	<ul style="list-style-type: none"> - Fatores de sucesso - Financiamento do programa - Gestão do sistema
Rudi Henri van Els, João Nildo de Souza Vianna, Antonio Cesar Pinho Brasil Jr, 2011.	<ul style="list-style-type: none"> - Treinamento - Gestão do sistema - Seleção das comunidades - Manutenção do sistema
George William Hong, Naoya Abe, 2011.	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamento do sistema - Gestão do sistema - Manutenção do sistema - Satisfação dos usuários
A.A.Lahimer, M.A.Alghoul, FadhilYousif, T.M.Razykov, N.Amin, K.Sopian, 2011.	<ul style="list-style-type: none"> - política de eletrificação rural - Satisfação dos usuários - Qualidade de energia
L.M. Carrasco, L.Narvarte, E.Lorenzo, 2012.	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de operação e manutenção do sistema - Gestão do sistema
F.S. Javadi, B.Rismanchi, M.Sarraf, O.Afshar, R.Saidur, H.W.Ping, N.A.Rahim., 2012.	<ul style="list-style-type: none"> - Política de eletrificação rural - Assistência financeira - Seleção das comunidades
Guo-liangLuo, Yi-weiGuo, 2012.	<ul style="list-style-type: none"> - Política de eletrificação rural - Manutenção do sistema - Gestão do sistema
AmaduMahama, 2012.	<ul style="list-style-type: none"> - Subsídio - Capacitação
Martin Obermaier, AlexandreSzklo, EmilioLebreLaRo vere, LuizPinguelliRosa, 2012.	<ul style="list-style-type: none"> - Envolvimento do setor público no programa - Padrão de consumo de energia por família - Assistência financeira
Simon J.D. Schillebeeckx, Priti Parikh, Rahul Bansal, Gerard George, 2012.	<ul style="list-style-type: none"> - Controle de qualidade - Participação comunitária no programa - Seleção das comunidades
BrijeshMainali, SemidaSilveira, 2013.	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação de tecnologias de energia renovável - Subsídio ao programa de eletrificação - Custo de energia
Ram C. Poude, 2013.	<ul style="list-style-type: none"> - Capacitação - Manutenção - Recursos financeiros

(conclusão)

Md. MizanurRahmanJukkaV.Paatero, AdityaPoudyal , RistoLahdelma , 2013.	<ul style="list-style-type: none"> - Financiamento do programa - Gestão do sistema instalado - Dimensionamento do sistema - Seleção das comunidades - Monitoramento
Fernandéz (2010)	<ul style="list-style-type: none"> - Treinamento dos usuários - Assistência técnica - Disponibilidade de peças de reposição - Garantia de equipamentos
Ministério de Minas e Energias (2013)	<ul style="list-style-type: none"> - Critérios de seleção dos usuários - Recursos Financeiros para o programa - Manutenção dos equipamentos

Quadro 4– Aspectos de influência sobre a sustentabilidade, apontados pelos artigos analisados

O Quadro 4, apresenta uma análise crítica das informações relatadas nos artigos do Quadro 3 com a finalidade de se identificar: boas práticas/critérios de sustentabilidade, aquelas ações que contribuíram de forma positiva com a implantação do PERSFI, oportunidades de melhoria, situações relatadas como potenciais causas de dificuldade na implantação de PERSFI e que podem ser melhoradas na implantação de outros PERSFI's.

4.1.1 QUESTÕES DAS DIMENSÕES

Foi realizado o agrupamento das boas práticas e oportunidades de melhoria relativas ao mesmo tema. Esta atividade tem como finalidade a identificação do conjunto de temas abordados, os quais se constituirão nas dimensões que afetam a sustentabilidade dos PERSFI'S. A análise dos resultados dos Quadros 3 e 4 permitiu identificar três dimensões que afetam a sustentabilidade dos sistemas fotovoltaicos. A análise consistiu na classificação e agrupamento de critérios que caracterizavam um aspecto da sustentabilidade dos diversos programas de eletrificação rural estudados. As dimensões são:

- Dimensão 1 - Política, orçamento e origem do recurso;
- Dimensão 2 – Características dos sistemas fotovoltaicos;
- Dimensão 3 – Gestão do programa.

A dimensão 1 apresenta critérios de ordem macro, como a política de eletrificação adotada pelo governo, as metas, o valor orçamentário e a origem do recurso para dar sustentabilidade ao programa.

A dimensão 2 trata dos aspectos qualitativos dos equipamentos e de dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos. Este grupo busca evidenciar se desde a concepção do projeto, especificação dos componentes, aquisição, estoque, distribuição e instalação o controle de qualidade está presente.

A dimensão 3 aborda os aspectos da gestão do sistema a partir do processo de escolha e cadastro dos beneficiários, manutenção dos sistemas para que continuem em operação até a eficiência do programa, no sentido de garantir que cada recurso investido esteja atendendo a política do programa da melhor maneira possível.

Foram elaboradas 33 perguntas referentes à sustentabilidade dos PERSFI'S, classificadas nas três dimensões: 1 - Política, orçamento e origem do recurso; 2 – Características dos sistemas fotovoltaicos e 3 – Gestão do programa. Destas, 11 dizem respeito aos aspectos macros da dimensão 1 e são apresentadas no Quadro 5.

Questões
1.1 Quais as metas estabelecidas pelo programa de eletrificação rural?
1.2 Quais os critérios adotados para seleção dos beneficiários a serem atendidos pelo programa de eletrificação rural com energia fotovoltaica?
1.3 Em relação à distância do solicitante da rede de energia elétrica, para qual solicitante é dada a preferência?
1.4 Qual a origem do recurso financeiro do programa?
1.5 Existe a possibilidade de continuidade de financiamento do programa?
1.6 Qual o período previsto de duração do programa?
1.7 Qual percentual dos recursos financeiros do programa é destinada à manutenção do sistema?
1.8 Qual a origem dos recursos financeiros para a manutenção dos sistemas?
1.9 Existe cronograma de aplicação de recursos para manutenção e instalação dos sistemas?
1.10 Qual a política de manutenção adotada pelo programa?
1.11 Quais são as formas do beneficiário adquirir os sistemas fotovoltaicos?

Quadro 5– Questões da DIMENSÃO 1

O Quadro 6 apresenta as 8 questões da dimensão 2, relativas a qualidade dos sistemas.

Questões
2.1 Os sistemas fotovoltaicos são projetados por especialistas na área e todos os seus componentes são devidamente especificados?
2.2 As compras são realizadas considerando as especificações contidas no projeto original?
2.3 Em qual faixa de potência se encontra o sistema fotovoltaico?
2.4 Qual a potência nominal do painel?
2.5 Que tipos de baterias são utilizados?
2.6 Os fornecedores ou fabricantes de painel são certificados?
2.7 Os fornecedores ou fabricantes de baterias são certificados?
2.8 Os fornecedores ou fabricantes de regulador de carga são certificados?

Quadro 6– Questões da DIMENSÃO 2

No Quadro 7, são apresentadas as 14 questões elaboradas para a dimensão 3, sobre a gestão do programa. Com base nas questões elaboradas para cada dimensão e considerando as boas práticas adotadas nos programas estudados foram elaboradas respostas a cada uma das questões apresentadas anteriormente. O objetivo de elaborar as respostas é permitir a aplicação de uma pesquisa com o mínimo de variáveis linguísticas.

Questões
3.1 Qual é o critério adotado no momento da compra dos componentes do sistema fotovoltaico?
3.2 O programa mantém um banco de dados atualizados com informações relevantes como nome do beneficiário, endereço, data da instalação, equipamentos instalados, histórico de manutenção e outros?
3.3 A instalação e manutenção dos equipamentos são realizadas com base em estudo de roteirização com vistas a reduzir os custos de deslocamento?
3.4 A equipe responsável pela instalação e manutenção é devidamente capacitada e bem dimensionada para a função?
3.5 Quem se responsabiliza pela manutenção dos sistemas?
3.6 O programa prevê treinamento aos usuários sobre boas práticas de conservação dos sistemas?
3.7 Qual a periodicidade da manutenção?
3.8 O beneficiário conta com algum tipo de suporte técnico, tal como: para relatar eventuais falhas, avarias e acesso a peças de reposição do sistema?
3.9 As empresas executoras do projeto de sistemas fotovoltaicos são certificadas?
3.10 O programa prevê o custo do treinamento dos usuários para manutenção dos sistemas?
3.11 Qual a forma de monitoramento do funcionamento dos sistemas implantados, adotada pelo programa de eletrificação rural com energia fotovoltaica?
3.12 Qual o percentual de sistemas instalados estão em funcionamento?
3.13 Qual é o órgão responsável pela auditoria da gestão do programa?
3.14 Existem relatórios oficiais sobre o programa, acessíveis à população por meio de internet ou outro tipo de publicação?

Quadro 7– Questões da DIMENSÃO 3

4.2 COLETA DE INFORMAÇÕES

4.2.1 Seleção dos Especialistas

No decorrer da pesquisa foram identificados 16 artigos que tratavam da temática deste trabalho, ao longo do mundo. Os autores destes artigos foram identificados como os especialistas capazes de valorar as questões elaboradas para cada uma das três dimensões. Desta forma, criou-se um banco de dados com as informações destes pesquisadores e atribuiu-se a cada um, a dimensão correspondente ao seu perfil de autor. O quadro 8 apresenta a relação de autores selecionados para cada dimensão.

Dimensão 1 Política, orçamento e origem do recurso		Dimensão 2 Características dos sistemas fotovoltaicos		Dimensão 3 Gestão do programa	
Autor	País	Autor	País	Autor	País
Xilin Zhang	China	A.A.Lahimer	Malásia	Gerard George	Tailândia
AshokKumar	China	M.A.Alghoul	Malásia	AmaduMahama	Ghana
Guo-liangLuo	China	George William Hong	Filipinas	AntonisTsikalakis	África
Martin Obermaier	Brasil	Naoya Abe	Filipinas	T. Tomtsi	África
H.W.Ping	Malásia	MizanurRahman	Bangladesh	N.D. Hatzargyriou	África
N.A.Rahim	Malásia	L.M. Carrasco	Marrocos	A. Poulikkas	África
Afshar	Malásia	BrijeshMainali	Afeganistão	Ch. Malamatenios	África
R.Saidur	Malásia	Semida Silveira	Afeganistão	E. Giakoumelos	África
SubhesC.Bhattacharyya	China	Ram C. Poudel	Nepal	O.CherkaouiJaouad	África
SanusiOhiare	China			A. Fayek	África
Javadi	Malásia			T. Matar	África
Rudi Henri van Els	Brasil			A. Yasin	África
M.Sarraaf	Malásia			Chenak	África
B.Rismanchi	Malásia				

Quadro 8– Banco de Especialistas utilizados

4.2.2 Avaliação da Importância das Questões

As questões correspondentes a cada dimensão foram enviadas aos especialistas correspondentes, para serem avaliadas segundo a escala apresentada na Tabela 2. No total, foram selecionados 36 especialistas, de 10 países. Destes, obteve-se a resposta de 9 especialistas, distribuídos em 4 na dimensão 1, 3 na dimensão 2 e 2 na dimensão 3. O resultado da avaliação, pelos especialistas, das questões da dimensão 1 é apresentado no Quadro 9.

As análises dos resultados das questões da dimensão 1 mostram de forma qualitativa a opinião dos especialistas entrevistados. Observa-se que para todas as questões avaliadas, os conceitos estabelecidos por cada especialista não tiveram alterações significativas. Para eles, as onze questões têm nível de importância que variam de VH à MH. Nenhuma questão foi caracterizada pelos especialistas como sendo de pouca importância.

Especialista/Questão	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11
Esp.1 (Malásia)	H	H	H	VH	MH	MH	H	MH	MH	MH	MH
Esp.2 (Malásia)	H	M	MH	VH	VH	H	M	MH	M	MH	VH
Esp.3 (Malásia)	VH	H	H	H	VH	H	M	MH	M	MH	H
Esp.4 (Brasil)	H	H	H	M	H	H	H	VH	H	H	VH

Quadro 9– Classificação das questões por Especialistas – DIMENSÃO 1

O mesmo procedimento é realizado para as questões das dimensões 2 e 3. O Quadro 10 apresenta o resultado da avaliação das questões por especialistas para a dimensão 2.

Especialista/Questão	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
Esp.5 (Afeganistão)	MH	H	MH	MH	VH	VH	H	H
Esp.6 (Malásia)	MH	MH	MH	MH	M	MH	MH	MH
Esp.7 (Malásia)	MH	M	MH	M	L	ML	ML	ML

Quadro 10– Classificação das questões por Especialistas – DIMENSÃO 2

Neste caso, percebe-se que a avaliação de cada especialista possui características intrínsecas próprias de cada autor. O especialista 5, por exemplo, avalia as perguntas com nível de importância entre MH e VH. Por outro lado, o especialista 6 mantém a avaliação praticamente constante em toda sua análise com nível de MH. Já o especialista 7 classifica as perguntas com níveis que se estendem entre L e MH. É importante destacar que para a questão 5 houve a maior disparidade entre as opiniões dos especialistas, variando entre nível de importância L (especialista 7), até VH de acordo com o especialista 5.

O Quadro 11 apresenta o resultado da avaliação de dois especialistas sobre as questões da dimensão 3. No Quadro 11 percebe-se que ambos os especialistas avaliaram as questões de forma uniforme, com nível de importância que variou de M até MH. Cinquenta por cento das questões avaliadas tiveram as mesmas opiniões dos autores, ou seja, forneceram o mesmo nível de importância para cada questão.

Especialista /Questão	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13	3.14
Esp.8 (África)	H	M	MH	VH	VH	H	MH	VH	MH	MH	M	H	M	MH
Esp.9 (África)	VH	H	H	H	VH	H	MH	H	H	MH	M	M	M	MH

Quadro 11– Classificação das questões por Especialistas – DIMENSAO 3

4.2.3 Avaliação da Importância das Alternativas

Para a avaliação das alternativas foram encaminhadas as questões com suas respectivas alternativas, a três especialistas brasileiros. Os especialistas efetuaram a análise das alternativas atribuindo valores linguísticos apresentados na Tabela 2. A classificação das alternativas, dentro dos termos linguísticos *fuzzy* e correspondentes números *fuzzy*, segundo a representação apresentada na referida tabela. Observa-se que essa escala apresenta uma diversidade de grau de importância, com os quais as respostas são avaliadas. Com a escala estabelecida, torna-se criteriosa a avaliação das respostas.

O Quadro 12 apresenta o resultado da avaliação das alternativas das questões da dimensão 1, pelos especialistas. As questões possuíam número

diferente de alternativas. Embora possa ser verificada uma grande variação na avaliação das alternativas pelos especialistas, observa-se, em geral, que os autores partilham de uma opinião comum sobre a ordem de importância das alternativas de cada questão da dimensão 1. A avaliação das alternativas é um processo subjetivo que perpassa a experiência e os valores de cada avaliador, e é nisso que consiste a riqueza do método.

Especialista/Alternativa	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	
Esp.10	a	VG	MG	F	VG	VG	F	F	VG	VG	VG	VG
	b	G	G	G	G	VP	MG	MG	G	VP	G	G
	c	P	VG	VG	MG	P	VG	G	P	P	P	MG
	d	MG	P	P	VP	-	-	VG	VP	-	-	-
	e	VP	VP	P	-	-	-	VP	-	-	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	P	-	-	-	-
Esp.11	a	G	G	MP	G	F	F	F	G	VG	MG	P
	b	F	MG	G	G	F	MG	MG	P	P	F	G
	c	P	VG	VG	G	P	VG	VG	P	VP	VP	MG
	d	VG	P	P	P	-	-	G	P	-	-	-
	e	VP	VP	P	-	-	-	VP	-	-	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	P	-	-	-	-
Esp.12	a	VG	F	P	G	VG	MG	F	MG	G	G	F
	b	MG	MG	F	G	P	G	P	F	P	MG	MG
	c	P	VG	VG	G	MP	VG	G	VG	P	VP	G
	d	F	VP	P	MG	-	-	VG	P	-	-	-
	e	VP	VP	P	-	-	-	VP	-	-	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	P	-	-	-	-

Quadro 12– Classificação das alternativas por Especialistas – DIMENSAO 1

O Quadro 13 apresenta o resultado da análise das alternativas das questões da dimensão 2, pelos mesmos especialistas que analisaram a dimensão 1. Novamente, percebe-se uma avaliação geral das alternativas semelhantes entre os especialistas, embora em algumas questões venham a divergir sobre o valor da escala a ordem da importância das alternativas tende a se manter a mesma.

Especialista/Alternativa	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	
Esp.10	a	VG	VG	P	VG	F	VG	VG	VG
	b	VP	G	F	G	P	VP	VP	VP
	c	VP	F	MG	P	VG	P	P	P
	d	-	P	G	VP	VG	-	-	-
	e	-	P	VG	-	-	-	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	-	-
Esp.11	a	VG	VG	MP	G	P	G	G	G
	b	VP	G	F	P	F	P	P	P
	c	VP	P	MG	P	VG	VP	P	P
	d	-	P	G	P	G	-	-	-
	e	-	P	VG	-	-	-	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	-	-
Esp.12	a	VG	VG	VP	MG	MG	G	G	G
	b	VP	G	P	F	F	P	P	P
	c	MP	MG	MG	VG	VG	P	P	P
	d	-	P	G	P	G	-	-	-
	e	-	P	VG	-	-	-	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 13– Classificação das alternativas por Especialistas – DIMENSÃO 2

O Quadro 14 apresenta o resultado da avaliação das alternativas das questões da dimensão3.

Especialista /Alternativa	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13	3.14	
Esp.10	a	VG	VG	VG	VG	G	VG	VG	G	VG	VG	MG	P	MG	G
	b	G	G	VP	VP	MG	VP	VG	VG	VP	F	MG	F	G	F
	c	G	F	P	VP	MG	P	G	P	P	VP	F	MG	VG	F
	d	F	P	-	-	VG	-	MG	VP	-	-	VG	G	VP	-
	e	MG	VP	-	-	VP	-	VP	-	-	-	VP	VG	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P	-	-
Esp.11	a	VG	VG	G	G	MP	VG	F	VG	VG	G	VG	VP	F	VG
	b	MP	G	VP	P	P	MP	VG	VG	P	MG	G	VP	MG	P
	c	F	F	VP	VP	P	VP	MP	P	VP	P	VP	MP	VG	VP
	d	VP	P	-	-	G	-	P	VP	-	-	VG	F	VP	-
	e	G	VP	-	-	VP	-	VP	-	-	-	VP	VG	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	VP	-	-
Esp.12	a	VG	VG	G	G	VG	G	MG	VG	VG	VG	VG	MP	P	G
	b	F	G	VP	P	F	P	VG	VG	P	MG	G	F	F	VP
	c	VP	F	P	VP	F	MP	MG	P	MP	P	VP	MG	VG	P
	d	MG	P	-	-	MG	-	F	VP	-	-	VG	G	VP	-
	e	-	VP	-	-	P	-	VP	-	-	-	VP	VG	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P	-	-

Quadro14– Classificação das alternativas por Especialistas – DIMENSÃO 3

Embora não seja o objetivo desta etapa atingir a concordância entre os especialistas sobre a avaliação das alternativas, destaca-se a avaliação feita para as alternativas da questão 3.2, em que os três especialistas classificaram da mesma forma.

4.3 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE

Fuzzy TOPSIS é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão mediante varias opções de soluções possíveis. Assim, a ferramenta facilita a tomada de decisões através da avaliação das alternativas, simplificando e organizando as alternativas de soluções em ordem de importância. Com isso, torna-se possível a identificação das melhores alternativas, facilitando a tomada de decisão.

4.3.1 Agregação de Pesos de Questões e Alternativas de Respostas

Cada uma das questões foi avaliada por três especialistas, de forma que cada um estabeleceu um valor mínimo, médio e máximo para cada questão. Para simplificar a análise dos resultados, pode-se utilizar do conceito de valor agregado. Através dessa ferramenta é possível obter um único vetor que contém o valor mínimo, médio e máximo. O valor mínimo consiste no menor dos valores amostrados. O valor médio, por sua vez, é obtido através da média aritmética dos valores médios e o valor máximo é escolhido considerando o especialista que forneceu a maior avaliação. O resultado dos valores agregados das questões está representado na Tabela 3. O mesmo procedimento é feito para os valores atribuídos por cada especialista às alternativas de respostas, de forma a obter um único vetor resultante para análise de cada resposta.

Tabela 3– Agregação de pesos das questões das dimensões 1, 2 e 3

Dimensão 1 Política, orçamento e origem do recurso		Dimensão 2 Características dos sistemas fotovoltaicos		Dimensão 3 Gestão do programa	
Questões	Peso das questões	Questões	Peso das questões	Questões	Peso das questões
1.1	(0,65; 0,85; 1,00)	2.1	(0,35; 0,60; 0,80)	3.1	(0,20; 0,43; 0,65)
1.2	(0,35; 0,73; 0,95)	2.2	(0,35; 0,65; 0,95)	3.2	(0,20; 0,43; 0,65)
1.3	(0,50; 0,76; 0,95)	2.3	(0,50; 0,65; 0,80)	3.3	(0,35; 0,58; 0,80)
1.4	(0,35; 0,88; 1,00)	2.4	(0,35; 0,60; 0,80)	3.4	(0,50; 0,73; 0,95)
1.5	(0,50; 0,81; 1,00)	2.5	(0,05; 0,62; 1,00)	3.5	(0,50; 0,73; 0,95)
1.6	(0,50; 0,76; 0,95)	2.6	(0,20; 0,67; 1,00)	3.6	(0,50; 0,65; 0,80)
1.7	(0,35; 0,65; 0,95)	2.7	(0,20; 0,60; 0,95)	3.7	(0,50; 0,65; 0,80)
1.8	(0,50; 0,65; 0,80)	2.8	(0,20; 0,60; 0,95)	3.8	(0,65; 0,90; 1,00)
1.9	(0,35; 0,65; 0,95)			3.9	(0,35; 0,58; 0,80)
1.10	(0,50; 0,69; 0,95)			3.10	(0,50; 0,65; 0,80)
1.11	(0,50; 0,86; 1,00)			3.11	(0,35; 0,50; 0,65)
				3.12	(0,35; 0,65; 0,95)
				3.13	(0,35; 0,50; 0,65)
				3.14	(0,50; 0,65; 0,80)

4.3.2 Resultados da Aplicação do FUZZY TOPSIS

A aplicação do *fuzzy* TOPSIS permite medir a distância de cada resposta em relação à distância da solução positiva Ideal e da solução negativa Ideal, das três dimensões como mostra a tabela 4.

Tabela 4– Resultados do Cálculo do Coeficiente de Proximidade para as Alternativas da dimensão1

Alternativas	Questões										
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11
a	0,687	0,499	0,345	0,612	0,579	0,461	0,377	0,522	0,570	0,565	0,503
b	0,557	0,521	0,527	0,591	0,337	0,548	0,461	0,406	0,185	0,506	0,586
c	0,214	0,614	0,665	0,566	0,285	0,591	0,559	0,413	0,185	0,179	0,576
d	0,579	0,187	0,201	0,398		0,665	0,570	0,344			
e	0,110	0,104	0,201				0,104				
f							0,195				
<i>MáxC_i*</i>	0,687	0,614	0,665	0,612	0,579	0,665	0,570	0,522	0,570	0,565	0,586
<i>MínC_i*</i>	0,110	0,104	0,201	0,398	0,285	0,461	0,104	0,344	0,185	0,179	0,503
<i>Amplitude</i>	0,577	0,510	0,464	0,214	0,294	0,204	0,466	0,178	0,385	0,386	0,083

Na Tabela 4 pode-se observar a amplitude dos valores do coeficiente de proximidade em relação a cada questão da dimensão 1. Por exemplo, na questão 1.1 verifica-se a maior amplitude, correspondendo a 0,577, enquanto na questão 1.11 a amplitude é a menor da dimensão 1, correspondendo a 0,083.

Tabela 5 – Resultados do Cálculo do Coeficiente de Proximidade para as Alternativas da dimensão 2

Alternativas	Questões							
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
a	0,551	0,596	0,222	0,277	0,404	0,546	0,523	0,523
b	0,153	0,538	0,307	0,353	0,466	0,194	0,184	0,184
c	0,220	0,398	0,443	0,469	0,532	0,194	0,184	0,184
d		0,185	0,531	0,491	0,514			
e		0,104	0,605					
f								
<i>MáxC_i*</i>	0,551	0,596	0,605	0,491	0,532	0,546	0,523	0,523
<i>MínC_i*</i>	0,153	0,104	0,222	0,277	0,404	0,194	0,184	0,184
<i>Amplitude</i>	0,398	0,492	0,383	0,214	0,128	0,352	0,339	0,339

Na Tabela 5 pode-se observar a amplitude dos valores do coeficiente de proximidade em relação a cada questão da dimensão 2. A questão 2.2 apresenta a maior amplitude, correspondendo a 0,492, enquanto que a questão 2.5 apresenta a menor amplitude dessa dimensão, correspondendo a 0,128.

Tabela 6 – Resultados do Cálculo do Coeficiente de Proximidade para as Alternativas da dimensão 3 das Questões 3.1 a 3.7

Alternativas	Questões						
	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
a	0,424	0,424	0,544	0,656	0,516	0,567	0,484
b	0,340	0,383	0,153	0,455	0,406	0,222	0,605
c	0,360	0,262	0,159	0,104	0,406	0,222	0,436
d	0,224	0,135			0,573		0,359
e	0,365	0,073			0,180		0,089
f							
<i>MáxC_i*</i>	0,424	0,424	0,544	0,656	0,573	0,567	0,605
<i>MínC_i*</i>	0,224	0,073	0,153	0,104	0,180	0,222	0,089
<i>Amplitude</i>	0,200	0,351	0,391	0,552	0,393	0,345	0,516

Tabela 7 – Resultados do Cálculo do Coeficiente de Proximidade para as Alternativas da dimensão 3 das Questões 3.8 a 3.14

Alternativas	Questões						
	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13	3.14
a	0,684	0,507	0,567	0,433	0,255	0,297	0,554
b	0,696	0,159	0,414	0,403	0,330	0,377	0,279
c	0,217	0,220	0,160	0,330	0,422	0,479	0,160
d	0,110			0,454	0,495	0,073	
e				0,073	0,596		
f					0,185		
<i>MáxC_i*</i>	0,696	0,507	0,567	0,454	0,596	0,479	0,554
<i>MínC_i*</i>	0,110	0,159	0,160	0,073	0,185	0,073	0,160
<i>Amplitude</i>	0,586	0,348	0,407	0,381	0,411	0,406	0,394

Nas Tabelas 6 e 7 pode-se observar a amplitude dos valores do coeficiente de proximidade em relação a cada questão da dimensão 3. Por exemplo, na questão 3.8 verifica-se a maior amplitude, correspondendo a 0,586, enquanto na questão 3.1 a amplitude é a menor da dimensão 3, correspondendo a 0,200.

Essas diferenças de amplitude representam a distância entre a melhor alternativa em relação à sustentabilidade, de acordo com as avaliações dos especialistas. Essas diferenças observadas na amplitude demonstram as características da lógica *fuzzy* em obter informação tácita dos especialistas.

Com base nos dados apresentados na Tabela 4, 5, 6 e 7 podem-se determinar os valores máximos e mínimos totais dos somatórios dos $\sum_{j=1}^n \min_j (C_i^*)^j$ e

$\sum_{j=1}^n \max_j (C_i^*)^j$ os quais são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados dos Valores Totais para os Máximos e Mínimos dos Coeficientes de Proximidade para as Alternativas para as Dimensões 1, 2 e 3

Valores Totais dos Coeficientes de Proximidade C_i^*	Dimensão 1 Política, orçamento e origem do recurso	Dimensão 2 Características dos sistemas fotovoltaicos	Dimensão 3 Gestão do programa
$\sum_{j=1}^n \max_j (C_i^*)^j$	6,635	4,367	7,646
$\sum_{j=1}^n \min_j (C_i^*)^j$	2,874	1,722	1,965

Os valores totais dos coeficientes de proximidade apresentados na Tabela 8 são as informações que permitem avaliar a sustentabilidade dos PERSFI'S. A dimensão 3 apresenta a maior amplitude dos valores totais dos coeficientes de proximidade, 5,681, enquanto que a dimensão 2 apresenta a menor amplitude, 2,645. Isso indica que a variação das respostas das questões da dimensão 3 influenciarão mais o índice de sustentabilidade do programa a ser avaliado.

4.4 ESTUDO DE CASO

Neste trabalho definiu-se como meta a análise de sustentabilidade do programa de eletrificação rural de Timor-Leste.

Timor-Leste é um dos países mais jovens do mundo (independência em 2002) e ocupa a parte oriental da ilha de Timor situada no sudoeste asiático. Possui um território com cerca de 15.000 km² e uma população de 1.066.409 de habitantes. O país é muito montanhoso e tem um clima tropical. Está dividido em 13 distritos (cada distrito é governado por um administrador, nomeado pelo presidente da República), cada um com uma capital. O país também tem 67 subdistritos (microrregiões localizadas nos distritos) que são subdivididos em 442 sucos, que constitui uma divisão administrativa composta por uma ou mais aldeias onde habitam em média cerca de 3000 pessoas. Na Figura 3 observa-se a localização geográfica de Timor-Leste e na Figura 4, o mapa político do país com a localização dos distritos e dos geradores.



Figura 3– Localização geográfica de Timor-Leste

Fonte: RDTL, 2002



Figura 4– Mapa político de Timor-Leste, com a localização dos distritos e dos geradores.

Fonte: RDTL, 2002

O clima é tropical, quente e úmido, tendo duas estações distintas determinadas pelo regime de monções. De maio a outubro o tempo é seco. Nos outros meses o tempo é úmido. A temperatura varia entre 19°C e 30°C, dependendo

da região e altitude. No litoral o clima é quente e úmido. Na zona central, com um relevo montanhoso o clima possui temperaturas mais baixas. A umidade é elevada durante todo o ano e oscila entre os 70% e 90%.

Os recursos naturais incluem minerais, depósitos de ouro, cobre e ferro, bem como o óleo e o gás natural encontrado no Mar de Timor entre Timor-Leste e a Austrália. Percebe-se que Timor-Leste é detentor de amplos recursos energéticos naturais, contudo, por falta de tecnologia, suas riquezas minerais são exploradas por empresas estrangeiras e o Estado mantém suas centrais elétricas mediante a utilização de combustível fóssil, tais como óleo diesel importado da Indonésia. No entanto, mais de 90% da demanda de energia para cozimento de alimentos e outros usos gerais provém de combustíveis de biomassa, essencialmente a lenha, extraída das florestas.

A área florestal de Timor é de 1.113.275 hectares, representando 58% do território do país, segundo levantamento do Ministério da Agricultura e Floresta - MAF (2004). Na zona leste do país, a floresta é mais densa. Já na costa sul, a floresta é mais rica em espécies. As espécies dominantes são: eucaliptos, Teka e sândalo. Como não havia uma política de reflorestamento, resultou em alto índice de desmatamento.

A Companhia Nacional de Petróleo de Timor-Leste-CNPTL, criada recentemente, iniciou sua primeira exploração de petróleo neste ano, e, segundo informa Ferreira (2013), através do sistema de parceria com outras empresas estrangeiras.

No entanto, apesar de ser um país produtor de petróleo (em 2013 produziu 209.535 barris/dia), as importações de combustíveis derivados de petróleo ainda continuam, pois o país não dispõe de tecnologia e de recursos humanos qualificados. É grave a falta de infraestrutura, tanto que o país não tem nenhuma refinaria. Dos combustíveis importados, mais de 75% são utilizados nos geradores para geração de eletricidade.

4.4.1 Setor Energético do Timor-Leste

Há anos o país enfrenta problemas de falta de energia elétrica. A geração de energia proveniente de centrais elétricas não é suficiente para atender toda a população. Apenas uma minoria tem acesso à energia elétrica. Quase 95% das populações que vivem em áreas remotas não possuem acesso a energia elétrica. A iluminação das moradias no meio rural ocorre apenas por meio da utilização de querosene, velas e baterias.

A escassez de energia no país levou o governo a desenvolver projetos de ampliação dos sistemas de geração de energia. Isso se concretizou com a construção de duas centrais elétricas localizadas em Hera, que fica localizado na parte leste da capital, e Betano, ao sul da capital Díli, cuja potência total de geração elétrica é de 255 MW. Essa energia é suficiente para atender as necessidades energéticas da população. Entretanto, a maioria da população timorense que vive em áreas remotas é desassistida, devido à distância destas localidades da rede elétrica e do alto valor do investimento necessário para a ampliação da rede elétrica a essas regiões remotas do país.

Timor-Leste situa-se a 9 graus Sul de latitude, logo abaixo do equador, o que lhe confere uma boa incidência solar. A insolação solar anual é de 6 kWh/(m²dia), condição adequada para aplicação de sistemas fotovoltaicos. Para aproveitamento dessa energia, o governo timorense resolveu implantar, em 2008, um programa de eletrificação rural por meio de sistemas fotovoltaicos.

Além disso, o banco mundial financiou um projeto de Plano Mestre de Eletrificação Rural que indica áreas isoladas que são possíveis candidatas para a instalação de sistemas fotovoltaicos. O estudo de Bond (2007) concluiu que 105 localidades não serão eletrificadas nos próximos 15 anos e outras 28, localizadas em áreas ainda mais remotas, também não terão acesso à energia elétrica nos próximos 20 anos. Segundo a conclusão do estudo realizado, se todas as famílias nessas áreas fossem atendidas por sistemas fotovoltaicos individuais, seriam necessários cerca de 50 mil sistemas fotovoltaicos.

No entanto, o monitoramento e gestão apresentam uma série de dificuldades quando se trata de Timor-Leste, devido à sua grande dificuldade de comunicação, inclusive a terrestre, além da falta de um sistema de informação

cadastral, conforme se pode observar no item seguinte, quando se apresenta diversos tópicos referentes à Timor-Leste e sua capacidade energética.

Em geral, a geração de eletricidade é realizada por fontes convencionais e possuem característica centralizada e geralmente por meio de geração à diesel nas comunidades isoladas. As centrais isoladas são compostas por 58 geradores espalhados por todas as capitais distritais, exceto a capital nacional. A localização das pequenas centrais pode ser vista na Figura 4, nos locais onde se grafa a letra G. As máquinas geradoras nas centrais elétricas de Díli têm uma potência de 40 MW, enquanto que nas pequenas centrais a geração de eletricidade é 16 MW. Outros 10MW são de geração particular, principalmente de empresas como forma de alimentação principal ou emergencial. O sistema de distribuição de energia elétrica é feito em corrente alternada. As máquinas geradoras elétricas geram tensão de saída em 380 Volts.

Para a transmissão de energia elétrica, o nível de tensão é elevado para 20 kV. A elevação da tensão é efetuada por meio do transformador elevador para distribuição de eletricidade. O sistema de distribuição distribui e transmite a energia elétrica da central para a subestação, na qual, a tensão é reduzida para 380 V; esse nível de tensão é destinado para atendimento das indústrias que operam em ligação trifásica. Enquanto que o fornecimento de energia em nível de residências é feito por ligação monofásica, cuja tensão é de 220 V.

A potência elétrica gerada pelas centrais elétricas não é suficiente para fornecer eletricidade para toda população, tanto que em 2005, somente 22% das residências estavam conectadas a rede elétrica, destaca Bond (2007). Aproximadamente 2/3 das famílias atendidas pela rede nacional vive na capital Díli. Calcula-se que as comunidades que vivem em áreas rurais consomem apenas 2% da eletricidade gerada para rede elétrica convencional. A energia elétrica chega ao consumidor a um custo de 0,16 a 0,20 USD por kWh, analisa o mesmo autor. As centrais elétricas existentes não têm capacidade de geração suficiente para atender as demandas energéticas das populações de Timor-Leste. Por isso, o governo tem procurado ampliar o setor energético com a construção de mais centrais elétricas com maior capacidade de geração; as duas últimas centrais construídas ultimamente geram 255 MW, destacando-se:

- Central Elétrica de Hera, composta por 7 unidades de geradores de 17 MW cada, totalizando 119 MW. A central inclui instalações de

armazenamento de combustível, uma subestação que eleva a tensão para 150 kV, para efeitos conexão com o sistema de transmissão.

- Central Elétrica de Betano, composta por 8 unidades de geradores de potência de 17 MW cada, atingindo um total de 136 MW. A central inclui instalações de armazenamento de combustível, uma subestação que eleva a tensão para 150 kV.

Para que essa energia gerada seja fornecida para a maioria dos consumidores, escreve Delloite (2009), o governo implantou um sistema de transmissão de 150 kV, consistindo em aproximadamente 715 km de linha formando um anel em redor de Timor-Leste, além de nove subestações de transformação de tensão localizadas nas capitais de distrito de Timor-Leste. Estas subestações irão permitir a ligação às linhas de distribuição de 20 kV existentes.

Em paralelo à construção das grandes centrais elétricas, o governo também introduziu programas de eletrificação rural, promovendo o uso de energias renováveis a partir de fontes hídricas, de biogás, de energia solar, de agroenergia e de energia eólica.

Em 1990, foram instalados os primeiros sistemas fotovoltaicos pelo governo da Indonésia como projeto piloto, em algumas áreas rurais de Timor-Leste.

Após a independência de Timor-Leste, agências internacionais começaram a desenvolver projetos em apoio às comunidades isoladas em áreas rurais do país. Em 2006, informa Bond (2007), a agência australiana *Edmund Rice Community* desenvolveu um projeto de eletrificação com sistemas fotovoltaicos destinados às comunidades de Railaco. O programa beneficiou cerca de 800 famílias. Cada família foi atendida por um módulo de 10 Wp, uma lâmpada de 5W e bateria de 12 V/ 9,2 Ah.

Em paralelo ao apoio internacional, o programa semelhante foi realizado pelo governo timorense. Tanto que, em 2008, criou-se a Secretaria de Estado da Política Energética, responsável pela eletrificação rural do país. O governo definiu a política energética visando o aproveitamento de fontes energéticas renováveis para a eletrificação das áreas não atendidas pela rede nacional, utilizando-se da energia hídrica, do biogás, da agroenergia, da eólica e da energia solar.

Quanto à geração de fontes hídricas, recuperou-se a central hídrica, localizada em Loihuno, com capacidade de 12 kW. Essa central abastece 140 famílias. Na figura 5 pode ser visto canal de conduto de água e o gerador hídrico.



Figura 5– Foto: Canal de conduto de água para central hídrica em Loihuno

Fonte: SEPE, 2010

Quanto ao programa de biogás, já foram implantadas 30 unidades de biodigestores de biogás nas áreas rurais. O excremento de animais serviu de matéria prima armazenada em digestores para fins de fermentação. O biogás pode ser utilizado tanto para cozimento de alimentos como para acionamento do gerador elétrico. Nas figuras 6 e 7 podem ser vistos o biodigestor e o gerador elétrico movido a biogás.



Figura 6- Foto: Biodigestor de biogás instalado em Ermera

Fonte: SEPE, 2008



Figura 7– Foto: Gerador a biogás instalado em Ermera
Fonte: SEPE, 2009

O programa de agroenergia consiste no cultivo de mudas de *jatropha curcas*, planta nativa do país, podendo ser extraído óleo combustível de sua semente para geradores elétricos. As áreas não agricultáveis são destinadas ao plantio desse tipo de plantas. O governo disponibiliza financiamento para esse tipo de atividade. Para tanto, os camponeses devem ser organizados em grupos cooperativos rurais a fim de facilitar a coordenação das atividades e os processos administrativos ligados ao governo. Há orçamento estabelecido para o cultivo de *jatropha curcas*; 2.500 USD por hectare. De 2008 a 2010, o cultivo atingiu 200 hectares de *jatropha curcas*, alcançando um orçamento total de 500.000 USD, no período. Além de apoio financeiro à agricultura, o governo facilita também a instalação de usinas de refinaria.

Para o processamento em biodiesel, o governo timorense financiou o estabelecimento de um centro de refinaria de biodiesel com capacidade de produção de 5.000 litros de biodiesel/dia. O sistema foi instalado em 2009, em Metinaro, parte leste da capital, com investimento de 350.000 USD. O biodiesel será destinado para uso nos geradores. O programa prevê a integração dos geradores a biodiesel para eletrificação de algumas áreas isoladas no país. Nas figuras 8, 9 e 10 podem ser vistas mini-refinaria de biodiesel, muda e semente de *jatropha curcas* para extração de biodiesel.



Figura 8– Foto: Instalação de refinaria de biodiesel em Metinaro
Fonte: SEPE, 2009



Figura 9– Foto: Plantação de mudas de *jatropha curcas* em Metinaro
Fonte: SEPE, 2009



Figura 10– Foto: Semente de *jatropha curcas* para extração de biodiesel

Fonte: SEPE, 2010

No que tange ao programa de energia eólica, até o momento não foi implantado nenhum sistema eólico pelo governo, contudo projetos estão ainda em fase de estudos. O planejamento está sendo realizado pela empresa portuguesa *Martifer* especializada em energia eólica. Para iniciação do projeto, o governo timorense, através da Secretaria de Estado da Política Energética, celebrou um acordo com as entidades responsáveis pela empresa. O estudo consiste na identificação das localidades com potencial eólico em que foram identificados 5 pontos referenciais e para cada localidade foi estabelecido um sistema de medição eólica, a saber: Aileu, Laleia, Baucau, Ossu e Maliana.

Na Figura 11, podem ser vistos locais onde foram instaladas estações de medição. O projeto desenvolvido pela empresa teve um custo de cerca de 3 milhões de USD, custeado pelo Governo de Timor-Leste.



Figura 11—Localização dos pontos de medição eólica.

Fonte: SEPE, 2008

Além dos estudos sobre as potencialidades eólicas, foram realizados também avaliações sobre os recursos de biomassa e as potencialidades hídricas em todo o país. Os estudos revelaram que o país possui potencialidades energéticas que podem ser aproveitadas para geração de eletricidade. As potencialidades energéticas são classificadas nas seguintes categorias

- Hídrica (fio de água e regulação): 252 MW
- Hídrica: 100 MW
- Eólica: 72 MW
- Biomassa: 6 MW

Apesar de o país ter essas potencialidades energéticas, há dificuldade de sua exploração: relevo muito íngreme; resíduos difusos em áreas extensas e de difícil coleta e transporte; fontes de água localizadas muito distantes das aldeias; carência tecnológica e alto custo dos investimentos.

No que tange à energia solar, já se instalaram 9103 unidades de sistemas fotovoltaicos distribuídos em 100 vilarejos das áreas isoladas. Na tabela 2 apresenta-se o orçamento para aquisição dos sistemas fotovoltaicos. Para cada moradia foi instalada sistema fotovoltaico, constituído de painel de 50 W pico, uma bateria estacionária 60 Ah, regulador de tensão de 6 A e 3 lâmpadas de 10 W cada. Esse sistema fornece energia para iluminação por 3 a 4 horas durante a noite e para operação de pequenos rádios. Na Figura 12 pode ser vista a instalação do sistema

fotovoltaico individual doado pelo governo para as comunidades rurais. (SEPE, 2008).

Tabela 9– Orçamento do programa de eletrificação do Timor-Leste

Ano	Quantidade de painéis fotovoltaicos	Orçamento (US\$)
2008	226	180.800
2009	1664	1.331.200
2010	4274	3.419.200
2011	1600	1.280.000
2012	1339	1.071.200
Total	9103	7.282.400

Fonte: SEPE, 2012



Figura 12– Foto: Instalação de módulo fotovoltaico na casa localizada em áreas isoladas

Fonte: SEPE, 2008

Nas casas iluminadas com sistemas fotovoltaicos, os moradores expressam suas satisfações por sentir a diferença da noite com as luzes; as crianças estudam mais horas à noite; as pessoas têm acesso às informações através de rádios e as donas de casas dispõem de mais tempo para trabalhos artesanais no período noturno.

Na figura 13, pode ser vista a iluminação propiciada através de módulo fotovoltaico numa família em áreas rurais.



**Figura 13– Foto: Família beneficiada com energia fotovoltaica.
Fonte: SEPE, 2008**

A implantação do programa de eletrificação rural de Timor-Leste fica sob a responsabilidade da Secretaria de Estado da Política Energética – SEPE que dispõe de um departamento que tem por missão estudar e desenvolver políticas nas áreas de energias alternativas. Para tanto elabora e analisa estudos e projetos, com vista a desenvolver a exploração e produção de energias para a produção de eletricidade e outros usos domésticos; estabelecer modelo de controle e fiscalização bem como normas reguladoras dos projetos que venham a ser implantados e desenvolve programas de formação para os operadores e consumidores, no sentido de incentivar o consumo de energia alternativa.

Objetivos e características semelhantes percebe-se também em outros países, como, por exemplo, Bangladesh e Brasil.

4.4.2 Avaliação da Sustentabilidade do Programa de Eletrificação Rural do Timor-Leste

Para a validação da ferramenta as questões das três dimensões foram respondidas, com base nas informações obtidas pelos responsáveis do PERSFI do

Tabela 11– Resultados dos Índices de Sustentabilidade para as Dimensões 1, 2 e 3 e o Índice de Sustentabilidade Global do PERSFI do Timor-Leste

Índice de Sustentabilidade da Dimensão 1 Política, orçamento e origem do recurso (%)	Índice de Sustentabilidade da Dimensão 2 Características dos sistemas fotovoltaicos (%)	Índice de Sustentabilidade da Dimensão 3 Gestão do programa (%)	Índice de Sustentabilidade Global do PERSFI do Timor-Leste (%)
45,73	33,19	39,50	39,14

A Tabela 11 apresenta os resultados dos índices de sustentabilidade de cada dimensão e o índice de sustentabilidade global para o PERSFI do Timor-Leste. Pode-se observar que o melhor desempenho ocorreu na dimensão 1 (política, orçamento e origem do recurso), atingindo 45,73% de nível de sustentabilidade em relação ao apontado pelos especialistas. A Dimensão 2 (características dos sistemas fotovoltaicos) obteve o menor índice de sustentabilidade, cujo valor corresponde a 33,19%, e a dimensão 3 (gestão do sistema) com um índice de 39,5%. O índice de sustentabilidade global do PERSFI atingiu 39,14%. Nesse caso, tornam necessárias ações conjunturais em busca de melhoria ao programa de eletrificação rural de Timor- Leste.

4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO PARA TOMADA DE DECISÃO

O método desenvolvido foi utilizado para verificar o efeito da alteração do resultado de algumas alternativas selecionadas em relação ao nível de sustentabilidade de cada dimensão bem como o nível de sustentabilidade global do programa de eletrificação rural do Timor-Leste.

Neste caso, as alternativas das questões selecionadas foram as que tiveram menor índice de coeficiente de proximidade e que oferecem oportunidades de melhorias. As questões selecionadas para cada dimensão são: Dimensão 1, (1.7, 1.8, 1.9 e 1.10) que abordam assuntos relacionados aos recursos financeiros, responsabilidade dos usuários, política de manutenção); Dimensão 2, (2.2, 2.3, 2.4, 2.6, 2.7 e 2.8) referentes às especificações técnicas e certificação dos

equipamentos; Dimensão 3, (3.2, 3.3, 3.7, 3.8, 3.9, 3.11, 3.12 e 3.13) relacionadas à gestão dos sistemas

Em virtude da dificuldade de um programa melhorar todos os aspectos que o caracterizam optou-se por propor a alteração do resultado de apenas uma questão da Dimensão 1, duas para a Dimensão 2 e uma questão para Dimensão 3. A escolha das questões seguiu o critério do maior aumento do coeficiente de proximidade. Para a Dimensão 1 foi selecionada a questão 1.7 pelo fato de que dentre as questões analisadas, essa é a que possui maior coeficiente de proximidade. Neste caso, os recursos financeiros para manutenção dos sistemas são requisitos fundamentais. As melhorias no planejamento do programa requerem poucos investimentos e a realização dessa proposta torna-se muito provável.

Já para Dimensão 2, foram selecionadas as questões 2.6 e 2.7, por apresentarem os maiores coeficientes de proximidade. Neste caso, a aquisição de equipamentos de qualidade é também um dos requisitos fundamentais para a sustentabilidade do programa. As melhorias nesse aspecto requerem mínimas intervenções, tal como treinamento da equipe responsável por compras de equipamentos e elaboração de procedimentos. Esse tipo de ação não implica em ampliação de recursos humanos e financeiros e ainda propicia que os novos equipamentos (com maior qualidade) apresentem maior durabilidade e pouca frequência de substituição de peças, contribuindo para a redução dos custos de manutenção.

Enquanto que para a Dimensão 3, a questão 3.8 apresenta maior coeficiente de proximidade. A disponibilidade do pessoal técnico no local da instalação dos sistemas é uma das estratégias para minimizar custos de manutenção, evitando os gastos com a deslocação da equipe técnica ao local da instalação.

A tabela 12 apresenta as questões que obtiveram a maior diferença entre a avaliação do programa e a avaliação ideal realizada pelos especialistas, estas diferenças também são apontadas, assim como os coeficientes de proximidade. As questões que apresentam os maiores índices são as que oferecem maiores oportunidades de melhorias. As alterações propostas para as questões mencionadas, provavelmente contribuirão para a eficácia no planejamento e na sustentabilidade do programa. As melhorias propostas para as questões escolhidas para as três Dimensões resultam no incremento de nível de sustentabilidade que

pode se observar na tabela 13.

Tabela 12– Resultados de Avaliação dos Coeficientes de Proximidade para Alternativas das Questões da Dimensão 1,2 e 3

Dimensão 1 Política, orçamento e origem do recurso			Dimensão 2 Características dos sistemas fotovoltaicos			Dimensão 3 Gestão do programa		
Questões	(ΔC_i^*)	C_i^*	Questões	(ΔC_i^*)	C_i^*	Questões	(ΔC_i^*)	C_i^*
1.7	(0,579 - 0.104)	0,466	2.2	(0.596-0.398)	0,198	3.2	(0.424-0.262)	0,162
1.8	(0.522- 0.344)	0,178	2.3	(0.605-0.222)	0,383	3.3	(0.544-0.153)	0,391
1.9	(0.570- 0.185)	0,385	2.4	(0.491-0.353)	0,183	3.7	(0.484-0.089)	0,395
1.10	(0.565- 0.179)	0,386	2.6	(0.546-0.194)	0,352	3.8	(0.696-0.110)	0,586
			2.7	(0.523-0.184)	0,339	3.9	(0.507-0.220)	0,287
			2.8	(0.523-0.184)	0,339	3.10	(0.567-0.414)	0,153
						3.11	(0.454-0.074)	0,381
						3.12	(0.596-0.185)	0,411
						3.13	(0.479-0.297)	0,182

Tabela 13– Resultados do Cálculo do Coeficiente de Proximidade para alteração de Alternativas para as Dimensões 1, 2 e 3 para o Programa de Eletrificação Rural do Timor-Leste

Alteração das Alternativas das Questões da Dimensão 1	C_i^*	Alteração das Alternativas das Questões da Dimensão 2	C_i^*	Alteração das Alternativas das Questões da Dimensão 3	C_i^*
1.1 = d	0,579	2.1 = a	0,551	3.1 = a	0,424
1.2 = a	0,499	2.2 = a	0,398	3.2 = a	0,262
1.3 = c	0,665	2.3 = e	0,222	3.3 = a	0,153
1.4 = a	0,612	2.4 = d	0,353	3.4 = b	0,455
1.5 = a	0,579	2.5 = d	0,514	3.5 = c	0,406
1.6 = d	0,665	2.6 = a	0,546	3.6 = a	0,567
1.7 = d	0,570	2.7 = a	0,523	3.7 = b	0,089
1.8 = a	0,344	2.8 = a	0,523	3.8 = a	0,684
1.9 = a	0,185			3.9 = a	0,220
1.10 = a	0,179			3.10 = b	0,414
1.11 = a	0,503			3.11 = d	0,073
		$\sum_{j=1}^8 (C_i^*)$	3,278	3.12 = e	0,185
				3.13 = c	0,297
				3.14 = a	0,554
$\sum_{j=1}^{11} (C_i^*)$	5,060			$\sum_{j=1}^{14} (C_i^*)$	4,783

Com as ações de melhorias propostas para o programa, permitir-se-á o incremento do nível de sustentabilidade para as três dimensões, assim como a sustentabilidade global do programa, a saber: a Dimensão 1 atingirá o índice de 58%; a Dimensão 2, 72% e a Dimensão 3, 49%, enquanto que o índice global do programa será de 58,9%, cujos resultados são apresentados na tabela 14. Essas ações são estratégias que contribuem para a melhoria da sustentabilidade do programa e benefício para as comunidades rurais isoladas do país

Tabela 14 – Resultados da simulação dos Índices de Sustentabilidade para as Dimensões 1, 2 e 3 e o Índice e do Global do PERSFI do Timor-Leste

Índice de Sustentabilidade da Dimensão 1 Política, orçamento e origem do recurso (%)	Índice de Sustentabilidade da Dimensão 2 Características dos sistemas fotovoltaicos (%)	Índice de Sustentabilidade da Dimensão 3 Gestão do programa (%)	Índice de Sustentabilidade Global do PERSFI do Timor-Leste (%)
58,12	72,14	49,60	58,90

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método para avaliar o nível de sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos individuais. Para atingir esse objetivo foi necessário identificar os parâmetros que contribuem para a sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos, estudar as características e as boas práticas dos programas de eletrificação rural com sistema fotovoltaico implantado no mundo, identificar especialistas na área de eletrificação rural e desenvolver uma ferramenta capaz de avaliar o nível de sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos.

A metodologia empregada consistiu em identificar artigos que abordassem o tema “programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos individuais”, destacando as boas práticas, oportunidades de melhoria e organizando-as em dimensões, criando-se três dimensões que podem afetar a sustentabilidade dos programas, dimensão 1 - Política, orçamento e origem do recurso; dimensão 2 – Características dos sistemas fotovoltaicos e dimensão 3 – Gestão do programa. A partir das dimensões elaborou-se 33 questões referentes à sustentabilidade dos programas. O questionário, contendo as 33 questões, foi encaminhado para 36 especialistas para que efetuassem uma avaliação das questões sob a ótica da sustentabilidade de programas. Um modelo matemático foi desenvolvido para avaliar a sustentabilidade dos programas de eletrificação rural baseado no resultado da avaliação recebida dos especialistas sobre as questões do questionário com adaptação do método *fuzzy* TOPSIS para o tratamento das informações, o mesmo foi realizado para as alternativas, porém com um número inferior de especialistas.

O modelo matemático empregado determinou as distâncias entre as respostas avaliadas como as mais apropriadas apontadas pelos especialistas (solução ideal) e as respostas fornecidas pelos usuários do método proposto. O resultado da análise indicou a distância máxima 6,635 e mínima 2,874 das alternativas para a dimensão 1. Para a dimensão 2, o valor máximo foi de 4,367 e mínimo de 1,722; e para a dimensão 3, máxima 7,646 e mínima 1,965.

Pode-se observar a amplitude dos valores dos coeficientes de proximidade em relação a cada questão das 3 dimensões. Na dimensão 1 destaca-

se a maior amplitude da questão 1.1, correspondendo a 0,577, enquanto a questão 1.11 apresenta a menor amplitude, correspondendo a 0,083. Já na dimensão 2, a questão 2.2 apresenta a maior amplitude, correspondendo a 0,492, enquanto que a questão 2.5 apresenta a menor amplitude dessa dimensão, correspondendo a 0,128. Assim como na dimensão 3, na questão 3.8 verifica-se a maior amplitude, correspondendo a 0,586, enquanto que na questão 3.1 a amplitude é a menor da dimensão 3, correspondendo a 0,200. Essas diferenças de amplitude representam a distância entre a melhor alternativa em relação à sustentabilidade, de acordo com as avaliações dos especialistas e essas diferenças observadas na amplitude demonstram as características da lógica *fuzzy* em obter informação tácita dos especialistas.

Determinaram-se os valores totais dos coeficientes de proximidade que permitem avaliar a sustentabilidade dos PERSFI'S. A dimensão 3 apresenta a maior amplitude dos valores totais dos coeficientes de proximidade, 5,681, enquanto que a dimensão 2 apresenta a menor amplitude, 2,645. Isso indica que a variação das respostas das questões da dimensão 3 influenciará mais o índice de sustentabilidade do programa a ser avaliado.

O método proposto neste trabalho foi aplicado para o programa de eletrificação rural existente no Timor-Leste, obtendo-se os índices de sustentabilidade de 45,73 % em relação ao apontado pelos especialistas para dimensão 1, 33,19 % para a dimensão 2, 39,50 % para a dimensão 3 e 39,14 % para o índice de sustentabilidade global.

Deste modo, o método desenvolvido neste trabalho permite aos gestores dos PERFSI do Timor-Leste, assim como de outros programas, avaliar a situação do programa, por dimensão, e programar ações que visem o incremento do índice de sustentabilidade global do programa. É possível também verificar em qual dimensão devem ser realizadas ações prioritárias e efetuar uma análise posterior de viabilidade técnica e econômica da implantação das ações propostas. Desta forma, o método desenvolvido é uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, e estratégia para melhoria do programa, além de avaliar o nível de sustentabilidade de PERSFI.

REFERÊNCIAS

AHMED, M. M; SULAIMAN, M. Design and Proper Sizing of Solar Energy Schemes for Electricity Production in Malaysia. **Power Engineering Conference**, Proceedings National, p. 268-271, 15-16 Dec. 2003.

AMIN, Narima; LANGENDOEN, Richard. Grameen Shakti: A Renewable Energy Social Business Model for Global Replication, **Global Humanitarian Technology Conference**, p. 324-327, 2012.

ALTAWELL, N. Financing for Rural Electrification. Computational Intelligence for Financial Engineering & Economics, (CIFEr) **IEEE Conference**, p. 1-8, 29-30 March 2012.

AYDOGAN, E. K. Performance measurement model for Turkish aviation firms using the rough-AHP and TOPSIS methods under *fuzzy* environment. **Expert Systems with Applications**, v. 38, p. 3992 – 3998, 2011.

BOND, M; FULLER R. J, AYE. A policy Proposal for the Introduction of Solar Home System in Timor-Leste. The University of Melbourne, Australia, International Technology Center (IDTC), **Energy Policy**, vol., no.35, p. 6535-6545, 2007.

BHATTACHARYYA, S. C; OHIARE, Sanusi. The Chinese Electricity Access Model for Rural Electrification: Approach, Experience and Lessons for Others. **Energy Policy**, v. 49, p. 676–687, 2012.

BHANDARI, A K; CHINMOY, J. A Comparative Evaluation of Household Preferences for Solar Photovoltaic Standalone and Mini-grid System: An Empirical Study in a Coastal Village of Indian Sundarban. **Renewable Energy**, v. 35, no.12, p. 2835–2838, 2010.

CABRAAL, M; COSGROVE, D. Best Practices for PV Solar Home System Projects. Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the Twenty Fourth, **IEEE First World Conference**, v. 2, p. 2353-2356, 5-9 Dec. 1994.

CANCINIO, G; EDUARDO, R; PEDRO, B; ALENS. Introducing Photovoltaic System into Homes in Rural Chile, Technology and Society Magazine, **IEEE**, v. 20, n. 1, p. 29-36, Spring 2001.

CHIAN-WOEI, Shyu. Rural Electrification Program with Renewable Energy Sources: An analysis of China's Township Electrification Program. **Energy Policy**, v. 51, p. 842–853, 2012.

CORSAIR, H. J. Clean Energy and Extreme Poverty: The cost burden of donated solar home lighting systems, Power and Energy Society General Meeting, **IEEE**, p. 1-6, 2009.

CORSAIR, H. J; LEY, D. The Commercialization of Solar Energy as a Means for Rural Development. Energy 2030 Conference, **IEEE**, p. 1-6, 17-18 Nov. 2008.

CARRASCO, LM; NARVARTE, L; LORENZO, E. Operational Costs of A13,000 Solar Home Systems Rural Electrification Program. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 1–7, 2012.

CHAUREY, Akanksha; TARA, Chandra. K. Assessment and Evaluation of PV based Decentralized Rural Electrification: An overview, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, n. 8, p. 2266–2278, 2010.

CHOWDHURY, S. A; KABIR, S. M. R; MOUDUDUL, Islam S. M. Technical Appraisal of Solar Home System Equipments in Bangladesh. **Developments in Renewable Energy Technology** (ICDRET) 1 st International Conference, p.1-5, 17-19, Dec. 2009.

CUNHA, J. L. P. A. **Eletrificação De Edificações Rurais Isoladas Utilizando Energia Solar**, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 48 p, 2006

DASUKI, A. S; DJAMIN, M. Fifty Mega Watt Peak (50 MWp) Photovoltaic Rural Electrification in Indonesia. Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the Twenty Fourth. IEEE Photovoltaic Specialists Conference - **IEEE** First World Conference, v. 2, p. 2379-2382, 5-9 Dec 1994.

DINIZ, A. S. A. C; CAMARA, C. F; CARVALHO, F. W; TOME, J. L; FRANCA, E. D; BORGES, J. D; RESENDE, M. E; RAVINET, R. F; VILLEFORT, M. H; COSTA, L. M. A; CARVALHO, M. A; DELGADO, M. B; TASCA, S. A. Sustainability - a Challenge for Deployment of Photovoltaic's in a Utility Program. **Photovoltaic Energy Conversion**, Proceedings of 3rd World Conference, v. 3, p. 2486-2489, 18-18 May 2003.

DELOITTE. **Review of EDTL, Democratic Republic of Timor-Leste**, p. 55, April 2011. Disponível em: www.laohamutuk.org. Acesso em 20 de Setembro 2012.

ELS Rudi Henri, van; VIANA, João Nildo de Sousa; PINHO, Antonio Cesar Brasil Jr. The Brazilian Experience of Rural Electrification in the Amazon with Decentralized Generation – The need to change the Paradigm from Electrification to Development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 1450-1461, 2011.

EL FADL, E. A; BOTROS, R; YOUSSEF, R. Cost Analysis Comparison between Photovoltaic Solar and Conventional Power for Supplying Electricity in a Remote Village in Egypt. Electricity Distribution. Part 1: Contributions. CIRED. 14th **International Conference and Exhibition** on (IEE Conf. Publ. No. 438), v. 5, p. 35/1-35/5, 2-5 June 1997.

FERREIRA, Manuela. **Timor-Leste lança sua primeira exploração de petróleo**. Disponível em :<http://www.lusomonitor.net/?p=593>. Acesso em: 01/11/2013.

FERNÁNDEZ, M. F. **Rol e Impacto Socio Económico de Las Energias Renovables em el Area Rural**.CEDLA, p. 84, La Paz, Bolívia, 2010

GLAVIN, M; HURLEY, W. G. Battery Management System for Solar Energy Applications. **Universities Power Engineering Conference**, UPEC '06. Proceedings of the 41st International, v.1, p. 79-83, 6-8 Sept. 2006.

GOMEZ, V Will S; VOGT, G; MEYER, T; VAN, Roekel G; WESTRA, C; MONTERO, M; RAMIREZ, E; VOSSELER, I; ORENGO, H; RUDEK, B; VANDEN, Bergh J; FABRE, A. Training of Company Abilities to Integrate Social Aspects in PV-Projects for Rural Electrification. **Photovoltaic Energy Conversion**, 2003. Proceedings of 3rd World Conference, v. 3, p. 2599-2602, 18-18 May 2003.

GONÇALVES, M. M; MIN, M. S. **Estudo sobre a Fertilidade dos Solos em Timor-Leste**. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA - INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA TROPICAL, Lisboa, 1963. Disponível em: <http://WWW.timor-agricola.blogspot.com>. Acesso em 29/10/2013.

GULLBERG, M; IISKOG, E; KATYEGA, M; KJELLSTROM, B. Village Electrification Technologies—an Evaluation of Photovoltaic Cells and Compact Fluorescent Lamps and their Applicability in Rural Villages based on a Tanzanian Case Study. **Energy Policy**, v. 33, n.10, p. 1287–1298, 2003.

HANS, H. C; MARTINE, P; TREVOR, U; TANIA. An Approach to Solar Home System's **Success, Developments in Renewable Energy Technology** (ICDRET), 2nd International Conference, p.1-4, 5-7 Jan. 2012.

HONG, George William; ABE, Naoya. Sustainability Assessment of Renewable Energy Projects for Off-grid Rural Electrification: The Pangan-an Island Case in the Philippines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 54-64, 2012.

HUACUZ, J. M; AGREDANO, J; MUNGIA, G; FLORES, R. Los Sabinos PV Rural Electrification Project: results after 30 months of operation. Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the Twenty Fourth. **IEEE Photovoltaic Specialists Conference - IEEE First World Conference**, v. 1, p. 1134-1136, 5-9 Dec. 1994.

JANNUZI, G Martino. Relatório Final Avaliação de dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes, **International Energy Initiative para a América Latina** (IEA-LA) e Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), seção 1, v. 141, n. 185, p.126, Campinas, 2009.

JAVADI, F. S; RISMANCHI, B; SARRAF, M; AFSHAR, O; SAIDUR, R; PING, H. W; RAHIM, N. A. Global Policy of Rural Electrification. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 402-416, 2012.

KAMALPUR, G. D. Electrification in Rural Areas of India and Consideration of Solar Home System, **Industrial and Information Systems** (ICIIS), International Conference, p. 596-601, July 29 2010- Aug. 1, 2010.

KUTLU, Ahmet Can; LU, Mehmet Ekmekciog. *fuzzy* Failure Modes and Effects Analysis by Using *fuzzy* TOPSIS-based *fuzzy* AHP. **Expert Systems with Applications**, v. 39, p. 61-67, 2011.

LAHIMER, A. A; ALGHOUL, M. A; YOUSIF, Fadhil; ROZYKOV, T. M; AMIN, N; SOPIAN, K. Research and Development Aspects on Decentralized Electrification Options for Rural Household. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 24, p. 314-324, 2013.

LANGEVINE, L. P. A. **Diagnostic Study of Photovoltaic Systems at Rural Health Centers in Guyana**, v. 10, p. 153-165, 1997.

LENA, Gregórie. Rural Electrification with PV Hybrid System. **International Energy Agency Photovoltaic Power System Program**, p. 1-52, July, 2013.

LORENZO, E; CAAMANO-Martin, E; LASTRES, C. PV Modules Characterizations in Rural Electrification Actions. Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twenty-Eighth **IEEE** , p.1472-1475, 2000.

LHENDUP, T. Rural Electrification in Bhutan and a Methodology for Evaluation of Distributed Generation System as an Alternative Option for Rural Electrification. **Energy for Sustainable Development**, v. 12, n. 3, p. 13–24, 2008.

LUO, Guo-liang; GUOYi-wei. Rural Electrification in China: A policy and institutional Analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 320–329, 2013.

MAF **A Floresta em Timor-Leste e o Papel da Cooperação Agrícola Portuguesa no Seu Desenvolvimento**, 2004. Disponível em:<http://nатурlink.sapo.pt/Noticias/Opinioao/content/A-Floresta-em-Timor-Leste-e-o-papel-da-Cooperacao-Agricola-Portuguesa-no-seu-Desenvolvimento?bl=1&viewall=true>. Acesso em: 20 de Outubro 2013.

MAHAMA, Amadu. 2012 International Year for Sustainable Energy for All: African Frontrunnership in Rural Electrification. **Energy Policy**, v.48, p. 76–82, 2012.

MAINALI, Brijesh; SILVEIRA, Semida. Alternative Pathways for Providing Access to Electricity in Developing Countries. **Renewable Energy**, v. 57, p. 299-310, 2013.

MARTINOT, E; CABRAAL, A; MATHUR, S. World Bank/GEF Solar Home System Projects: Experiences and Lesson Learned. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 5, p. 39-57, 2001.

MALEK, N. B. A; BIN, Hasini H; BIN, AbdRahman A; BIN, Mohd Jaafar M. N. An Improved Solar PV System for Malaysian Rural Electrification Part II: Implementation and Economic Analysis of Solar PV System with Tracker and Reflectors, Research and Development (SCOREd), **IEEE Student Conference**, p. 462-466, 13-14 Dec. 2010.

MAKUKATIN, S; CUNOW, E; THEISSEN, M; AULICH, H. A. The CILSS-Project: A Large-Scale Application of Photovoltaic's in Africa. Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the Twenty Fourth. **IEEE Photovoltaic Specialists Conference IEEE First World Conference**, v. 2, p .2295-2298, 5-9 Dec. 1994.

MILLINGER, M; MARLIND, T; AHLGREN, E. O. Evaluation of Indian Rural Solar Electrification: A case Study in Chhattisgarh, **Energy for Sustainable Development**, v. 16, n. 4, p. 486–492, 2013.

MULLER, M. Topologies for Solar Charge Controllers — State of Art Overview and Application Advises. **Developments in Renewable Energy Technology Conference (ICDRET)**, 2012 2nd International Conference, p.1-3, 5-7 Jan. 2012.

NETO, M. L.V. B; CABRAL, C. V. T; OLIVEIRA, D. Filho; DINIZ A. S. A. C. Monitoring of Photovoltaic Systems for Performance Evaluation and Fault Identification, Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, **IEEE/PES**, p. 360-365, 8-11 Nov. 2004.

OBERMAIER, Martin; SZKLO, Alexandre; LEBRE, Emilio La Rovere; PINGUELLI, Luiz Rosa. An Assessment of Electricity and Income Distribution all Trends Following Rural Electrification in Poor North East Brazil. **Energy Policy**, v. 49, p. 531–540, 2012.

PALOMINO, G. E; STEPHENSON, R. L; LEPLEY, T. Comparison of the Performance of Residential Photovoltaic Power Systems in New Home Construction, Photovoltaic Specialists Conference. Conference Record of the Twenty-Ninth **IEEE**, p. 1679-1682, 19-24 May 2002.

PEREIRA, Marcio Giannini; SENA, A José Antonio; VASCONCELOS, Marcos Aurélio Freitas; SILVA, Neilton Fidelis. Evaluation of The Impact of Access to Electricity: A Comparative Analysis of South Africa, China, India and Brazil, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 1427-1441, 2010.

POUDEL, Ram C. Quantitative Decision Parameters of Rural Electrification Planning: A Review Based on a Pilot Project in Rural Nepal. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 291–300, 2013.

RAHMAN, Md Mizanur; PAATERO, Jukka V; LAHDELMA, Risto. Evaluation of Choices for Sustainable Rural Electrification in Developing Countries: A multi criteria Approach. **Energy Policy**, v. 59, p. 589–599, 2013.

RAHMAN, Md Mizanur; PAATERO, Jukka V; POUDYAL, Aditya; LAHDELMA, Risto. Driving and Hindering Factors for Rural Electrification in Developing Countries: Lessons from Bangladesh. **Energy Policy**, v. 61, p. 840–851, 2013.

RANHOTIGAMAGE, C; MUKHOPADHYAY, S. C. Field Trials and Performance Monitoring of Distributed Solar Panels Using a Low-Cost Wireless Sensors Network for Domestic Applications, *Sensors Journal*, **IEEE**, v.11, n.10, p. 2583-2590, Oct. 2011.

ROGHANIAN, E.; RAHIMI, J.; ANSARI, A. Comparison of first aggregation and last aggregation in *fuzzy* group TOPSIS. **Applied Mathematical Modelling**, v. 34, p. 3754 – 3766, 2010.

ROSINI, A; MARCO. **Administração de Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento**, São Paulo, 2006.

REIS, Lineu Bellico. **Geração de Energia Elétrica**, p. 231, 20 edição Revisada, São Paulo, 2011.

Republica Del Peru Ministerio de Energia y Minas, Plano Nacional de Electrificación Rural, p. 32, Peru, 2013

SHAHIDUL, I Khan; MOYNUL, S. M. Hague. Economic Analysis of Solar PV System for Urban Areas of Bangladesh, Economic analysis of solar PV system for urban areas of Bangladesh, **Electrical & Computer Engineering** (ICECE), 7th International Conference, p. 892-895, 20-22 Dec. 2012.

SHARIAR, A; CHOWDHURY; KABIR; S. M. R.; MOUDUDUL Islam, S. M.; SIDDIQUE, R. H; GOLAM Sarwar, A. T. M., Performance of Solar Home Systems in Rural Bangladesh. **Developments in Renewable Energy Technology** (ICDRET), 1st International Conference, p.1-5, 17-19 Dec. 2009.

SCHILLEBEECKS, Simon J. D; PARIKH, Priti; BANSAL, Rahul; GEORGE, Gerard. An Integrated Framework for Rural Electrification: Adopting a User-centric Approach to Business Model Development. **Energy Policy**, v. 48, p. 687–697, 2012.

SecretaryofState for Energy PolicyofTimor-Leste.**Lista de Projetos de Instalação de Paineis Solares** : Direção Nacional para Pesquisa de Energias Alternativas (DNPPEA), 6 p, Díli, 2012.

TSEKOURAS, G; TSAROUCHAM, A. A Data Base System for Power Systems Costumers and Energy Efficiency Programs, 2011. **Electrical Power and Energy Systems**, v. 33, p. 1220-1228, 2011.

TSIKALAKIS, Antonis; TOMTSI, T; HATZIARGYRIOU, N. D; POULLIKKAS, A; MALAMATENIOS, Ch; GIAKOUMELOS, E; JAOUAD, O. Cherkaoui; CHENAKE, A; FAYEK, A; MATAR, T; YASIN, A. Review of Best Practices of Solar Electricity Resources Applications in Selected Middle East and North Africa (MENA) Countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, p. 2838-2849, 2011.

Timor-Leste aposta nas energias renováveis. Disponível em: <http://timor-leste.gov.tl/?p=3827&print=1lang=pt>. Acesso em: Abril, 2012.

Timor-Leste aposta nos Painéis Solares. Disponível em: <http://timor-leste.gov.tl/?p=3952&print=1lang=PT>. Acesso em: Abril, 2012.

Timor-Leste aposta no Micro Hídrico. Disponível em: <http://timor-leste.gov.tl/?p=3939&print=1lang=pt>. Acesso em: Abril, 2012.

Timor-Leste aposta no Biogás. Disponível em: <http://timor-leste.gov.tl/?p=3939&print=1lang=pt>. Acesso em: Abril, 2012.

Tien-Chin Wang, Hsien-Da Lee. Developing a *fuzzy* TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. **Expert Systems with Applications**, v. 36, p. 8980–8985, 2009

TOMMER, R. E; JONATHAN, M; COMAS, L. H. A Framework for Portfolio Management of Renewable Hybrid Energy Sources, *System Journal IEEE*, v. 4, n. 3, p. 295-302, Sept. 2010.

VESENTINI, J WILLIAM. **Sociedade e Espaço: Geografia Geral e do Brasil**, 430 Edição, 2 0 Impressão, SP, 2004.

YODOO, Annabel. Low Carbon of Grid Electrification for Rural Areas: Lesson from Developing World, **Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)**, Asia-Pacific, p.1-4, 28-31 March, 2010.

WANG, T. C. & LEE, H. D. Developing a *fuzzy* TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. **Expert Systems with Applications**, v. 36, p. 8980 – 8985, 2009.

ZHANG, Xilin; KUMAR, Ashok. Evaluating Renewable Energy-based Rural Electrification Program in Western China: Emerging Problems and Possible Scenarios. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, n.1, p. 773–779, 2011.

APÊNDICE A- Questionários e Respostas

DIMENSÃO 1

1.1 As metas estabelecidas pelo programa são:

- a. Garantir o acesso à energia elétrica a uma determinada região do país
- b. Garantir o acesso à energia elétrica a uma determinada faixa da população
- c. Garantir o acesso à energia elétrica a todos os cidadãos
- d. Disponibilizar sistemas fotovoltaicos a comunidade que não tem acesso à energia elétrica
- e. As metas não estão definidas claramente

1.2 Quais os critérios adotados para seleção dos beneficiários a serem atendidos pelo programa de eletrificação rural com energia fotovoltaica?

- a. Distância da rede convencional de fornecimento de energia elétrica.
- b. Renda do solicitante.
- c. Para atendimento comunitário, como centros sociais ou de saúde.
- d. Por ordem de solicitação de atendimento.
- e. Os critérios não estão bem definidos.

1.3 Em relação a distância do solicitante da rede de energia elétrica, é dada preferência para o solicitante que:

- a. está mais afastado da rede
- b. está mais próximo da rede, mas ainda assim não é viável a expansão da rede
- c. a distância não importa, opta-se pela maior facilidade de acesso
- d. a distância não importa, opta-se pela maior dificuldade de acesso
- e. não é dada preferência em relação a distância da rede

1.4 Qual a origem do recurso financeiro do programa?

- a. Fundo público
- b. Doação Internacional
- c. Empresas privadas
- d. O próprio beneficiário

1.5 Existe a possibilidade de continuidade de financiamento do programa?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não sabe informar

1.6 Qual o período previsto de duração do programa?

- a. Até 5 anos
- b. Até 10 anos
- c. Até 15 anos
- d. Mais de 15 anos

1.7 Qual percentual dos recursos financeiros do programa é destinado à manutenção do sistema?

- a. 1- 3% do custo do sistema
- b. 3- 10 % do custo do sistema
- c. 10- 26,5 % do custo do sistema
- d. 26,5 – 50% do custo do sistema
- e. Nenhum recurso destinado para a manutenção
- f. Não sabe informar

1.8 Qual a origem dos recursos financeiros para a manutenção dos sistemas?

- a. Subsídio do governo
Recursos da empresa que executa o programa de instalações dos sistemas
- b. Fundo comunitário
- c. Recursos dos próprios beneficiários

1.9 Existe cronograma de aplicação de recursos para manutenção e instalação dos sistemas?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não sabe informar

1.10 Qual a política de manutenção adotada?

- a. Manutenção preventiva
- b. Manutenção corretiva
- c. Não há política de manutenção

1.11 Quais são as formas do beneficiário adquirir os sistemas fotovoltaicos?

- a. O sistema fotovoltaico é transferido ao usuário como uma doação pelo governo ou doador (doação)
- b. O usuário adquire o sistema fotovoltaico pelo pagamento de parte do custo e o governo subsidia o restante
- c. O usuário adquire o sistema fotovoltaico através de pagamentos parcelados, somente após ter finalizado o pagamento, o sistema passa a ser propriedade do usuário (crédito)

DIMENSÃO 2

2.1 Os sistemas fotovoltaicos são projetados por especialistas na área e todos os seus componentes são devidamente especificados?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não sabe informar

2.2 As compras são realizadas considerando as especificações contidas no projeto original?

- a. Sempre
- b. Quase sempre
- c. As vezes
- d. Quase nunca
- e. Nunca

2.3 Em qual faixa de potência se encontra o sistema fotovoltaico?

- a. 10 - 50 Wp
- b. 50 – 100 Wp
- c. 100 – 500 Wp
- d. 500 -1000 Wp
- e. Acima de 1000 Wp

2.4 Qual a potência nominal do painel?

- a. 10 Wp- 20 Wp
- b. 20 Wp-50 Wp
- c. 50 Wp-100 Wp
- d. 100 Wp-200 Wp

2.5 Que tipos de baterias são utilizados?

- a. Baterias automotivas
- b. Bateria de chumbo ácido
- c. Baterias de altas profundidades de descarga
- d. Baterias estacionárias seladas

2.6 Os fornecedores ou fabricantes de painel são certificados?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não se sabe informar

2.7 Os fornecedores ou fabricantes de baterias são certificados?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não se sabe informar

2.8 Os fornecedores ou fabricantes de regulador de carga são certificados?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não se sabe informar

DIMENSÃO 3

3.1 Qual é o critério adotado no momento da compra dos componentes do sistema fotovoltaico?

- a. Seguir as especificações técnicas do projeto
- b. Componentes serem aprovados após testar amostra
- c. Componentes que apresentem selos de certificação de qualidade
- d. Não são considerados critérios de qualidade na aquisição dos componentes do sistema
- e. Adquirir equipamentos que apresentem garantia de funcionamento por determinado período

3.2 O programa mantém um banco de dados atualizados com informações relevantes como nome do beneficiário, endereço, data da instalação, equipamentos instalados, histórico de manutenção e outros?

- a. Totalmente
- b. Muito
- c. Parcialmente
- d. Pouco
- e. Nada

3.3 A instalação e manutenção dos equipamentos são realizadas com base em estudo de roteirização com vistas a reduzir os custos de deslocamento?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não sabe informar

3.4 A equipe responsável pela instalação e manutenção é devidamente capacitada e bem dimensionada para a função?

- a. Totalmente
- b. Parcialmente
- c. Nunca

3.5 Quem se responsabiliza pela manutenção dos sistemas?

- a. Pessoal técnico da empresa executora do projeto
- b. Comunidade local
- c. Usuário
- d. Governo
- e. Nenhum dos anteriores

3.6 O programa prevê treinamento aos usuários sobre boas práticas de conservação dos sistemas?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não sabe informar

3.7 Qual a periodicidade da manutenção?

- a. Mensal
- b. Quadrimestral
- c. Anual
- d. Bianual
- e. Não é realizada

3.8 O beneficiário conta com algum tipo de suporte técnico, tal como: para relatar eventuais falhas, avarias e acesso a peças de reposição do sistema?

- a. Suporte técnico via telefone ou internet
- b. Suporte técnico local (na comunidade)
- c. Suporte técnico de difícil acesso
- d. Não tem suporte técnico

3.9 As empresas executoras do projeto de sistemas fotovoltaicos são certificadas?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não sabe informar

3.10 O programa prevê o custo do treinamento dos usuários para manutenção dos sistemas?

- a. Totalmente
- b. Parcialmente
- c. Não prevê

3.11 Qual a forma de monitoramento do funcionamento dos sistemas implantados, adotada pelo programa de eletrificação rural com energia fotovoltaica?

- a. Monitoramento remoto com transmissão via satélite
- b. Usuário informa quando há problemas por meio de uma central de atendimento
- c. Monitoramento é realizado apenas no escopo da comunidade. A direção do programa não toma conhecimento
- d. Equipes do programa mantêm rotina de verificação periódica
- e. Não é feito monitoramento

3.12 Qual o percentual de sistemas instalados estão em funcionamento?

- a. Até 20%
- b. Até 40%
- c. Até 60%
- d. Até 80%
- e. Acima de 80%
- f. Não sabe informar

3.13 Qual é o órgão responsável pela auditoria da gestão do programa?

- a. Governo
- b. Agencia parceira indicada pelo governo
- c. Agência sem vinculo com governo
- d. Não é realizada auditoria

3.14 Existem relatórios oficiais sobre o programa, acessíveis à população por meio de internet ou outro tipo de publicação?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não sabe informar

DIMENSION 1

1.1 What are the goals of the program?

- a. Ensuring access to electricity at a particular region of the country
- b. Ensuring access to electricity at a certain level of population
- c. Ensuring access to electricity to all citizens
- d. Provide PV systems to the communities without accessing to electricity
- e. The goals are not clearly defined

1.2 What are the criteria adopted for selecting the beneficiaries to be served by the rural electrification program with PV?

- a. Distance from the power supply.
- b. Income of the candidate.
- c. For community care, as social or health centers.
- d. In order of request service.
- e. The criteria are not well defined

1.3 What are the criteria adopted for selecting the beneficiaries to be served by the rural electrification program with PV in relation to the distance from the candidate to the power grid?

- a. It's the farthest from the network
- b. It's closer to the network, but even then it is not feasible to expand the network
- c. The distance does not matter, it is chosen the easiest access
- d. The distance does not matter, it is chosen by the most difficult access
- e. It's not given preference over the network distance

1.4 What is the financial resource of the program?

- a. public fund
- b. International donation
- c. private companies
- d. The beneficiary's own

1.5 Is there the possibility of continuity of the program?

- a. yes
- b. not
- c. Do not know inform

- 1.6 What is the planned duration of the program?
- Up to 5 years
 - Up to 10 years
 - Up to 15 years
 - More than 15 years
- 1.7 What is the percentage of financial resources for maintenance purpose?
- 1 - 3% of the system cost
 - 3 - 10% of the system cost
 - 10 to 26.5% of the system cost
 - 26.5 to 50% of the system cost
 - No resources allocated for the maintenance
 - Do not know inform
- 1.8 What financial resources proposed for the maintenance of the systems?
- Government grant
 - Resources of the company that runs the installer of systems
 - Community Fund
 - Resources of the beneficiaries themselves
- 1.9 Is there any financial resources for maintenance and installation of systems?
- yes
 - not
 - Do not know inform
- 1.10 What maintenance policy is adopted in the program?
- preventive maintenance
 - corrective maintenance
 - No maintenance policy
- 1.11 How beneficiary acquires the PV systems?
- The photovoltaic system is transferred to the user as a donation by the government or donor (donation)
 - The user acquires the PV system to pay part of the cost and the government subsidizes the rest
 - The user acquires the PV system through installment payments only after they have completed the payment, the system will be owned by the user (credit)

DIMENSION 2

2.1 Does the photovoltaic systems and all its components are properly designed?

- a. yes
- b. not
- c. Do not know inform

2.2 Does the purchases of the equipments based on the original design specification?

- a. always
- b. nearly always
- c. sometimes
- d. hardly ever
- e. never

2.3. What is the range capacity of the photovoltaic systems?

- a. 10 - 50 Wp
- b. 50 - 100 Wp
- c. 100 - 500 Wp
- d. 500 -1000 Wp
- e. Over 1000 Wp

2.4. What is the rated power of the panel?

- a. 10 Wp Wp-20
- b. 20 Wp Wp-50
- c. 50-100 WpWp
- d. 100-200 WpWp

2.5 What types of batteries are used?

- a. automotive batteries
- b. Lead acid battery
- c. Batteries of high depth of discharge
- d. Sealed stationary batteries

2.6 Are the photovoltaic panel suppliers or manufacturers certified?

- a. yes
- b. not
- c. Do not know inform

2.7 Are the battery manufacturers certified?

- a. yes
- b. not
- c. Do not know inform

2.8 Are the charge regulator manufacturers certified?

- a. yes
- b. not
- c. Do not know inform

DIMENSION 3

3.1 What are the criteria adopted when the PV system components are purchasing?

- a. Follow the technical specifications of the project
- b. Components are approved after testing sample
- c. Components that present seals of quality certification
- d. It is not considered quality criteria in the acquisition of system components
- e. Acquire equipments that presents guaranteed to work for a certain period

3.2 Does the program maintains an updated database with relevant information such as name of beneficiaries, address, and date of installation, installed equipment, maintenance historic and other?

- a. fully
- b. very
- c. partly
- d. little
- e. nothing

3.3 Do the installation and maintenance of equipment are carried out based on a study of routing in order to reduce travel costs?

- a. yes
- b. not
- c. Do not know inform

3.4 Is the technician responsible for the installation and maintenance of PV systems properly trained?

- a. fully
- b. partly
- c. never

3.5 Who is responsible for the maintenance of the systems?

- a. Technical staff of the company that are carrying out the project
- b. local community
- c. User
- d. government
- e. None of the above

3.6 Does the program provide training capacity to the beneficiaries on systems maintenance?

- a. yes
- b. not
- c. Do not know inform

3.7 What periodicity of the maintenance is required?

- a. monthly
- b. quarterly
- c. annual
- d. biannual
- e. Not performed

3.8 Does the beneficiary have some kind of technical support, such as to report any faults, breakdowns and access to spare parts of the system?

- a. Technical support via phone or Internet
- b. Local technical support (in the community)
- c. Technical support with difficult access
- d. Do not have technical support

3.9 Are the executing companies on photovoltaic systems project certified?

- a. yes
- b. not
- c. Do not know inform

3.10 Does the program provide budget for training of the beneficiaries on system maintenance?

- a. fully
- b. partly
- c. does not provide

3.11 What kind of monitoring adopted by the rural electrification program with PV?

- a. Remote monitoring with satellite transmission
- b. User reports when there is problems through a call center
- c. Monitoring is performed only in the scope of the community. The direction of the program is not aware
- d. technician team maintain periodic verification of the PV
- e. monitoring is not done

3.12 What percentage of installed systems are in operation?

- a. Up to 20%
- b. Up to 40%
- c. Up to 60%
- d. Up to 80%
- e. Over 80%
- f. Do not know inform

3.13 What is the body responsible for auditing the program?

- a. government
- b. Partner agency designated by the government
- c. Agency without link with government
- d. No audit is conducted

3.14 Are there official reports on the program, is it accessible to the public via internet or other publication?

- a. yes
- b. not
- c. Do not know inform

APÊNDICE B- Cartas para os Especialistas

Dear Sir. (**Name of the author**)

Email-address

We used a paper of yours (**Title of paper**) as one of the sources used to developing a study about programs of rural electrification.

We are researchers from the Masters Program in Electrical Engineering of UTFPR (Federal Technological University of Paraná) located in southern Brazil. We are developing a tool for assessing the sustainability of programs of rural electrification with photovoltaic systems.

We would like to request your assistance to evaluating the importance of some issues in relation to sustainability, due to your knowledge about the subject. The questions for evaluation are presented as a form whose link to access is provided below.

We are deeply grateful for your assistance.

José Manuel Mesquita

Master student

Prof. Dr. Dalmarino Setti

Prof. Dr. Jean-Marc Stephane Lafay

DIMENSION 1

Autor	Endereço eletrônico	País
1. Xilin Zhang	xilinzhang@hotmail.com	China
2. Ashok Kumar	gytisen@gmail.com	China
3. Guo-liang Luo	lgl1965@126.com	China
4. Martin Obermaier	martin@ppe.ufrj.br	Brasil
5. H.W. Ping	wphew@um.edu.my	Malásia
6. N.A. Rahim	nasrudin@um.edu.my	Malásia
7. .Afshar	afshar6263@yahoo.com	Malásia
8. R. Saidur	saidur@um.edu.my	Malásia
9. Subhes C. Bhattacharyya	s.c.bhattacharyya@dundee.ac.uk	China
10. Sanusi Ohiare	s.ohiare@dundee.ac.uk	China
11. Javadi	fjavadi2001@gmail.com	Malásia
12. Rudi Henri van Els	rudi@unb.br	Brasil
13. M. Sarraf	masoudsarraff@gmail.com	Malásia
14. B. Rismanchi	behzadrismanchi@siswa.um.edu.my, b.rismanchi@gmail.com	Malásia

DIMENSION 2

Autor	Endereço eletrônico	País
1. A.A. Lahimer	salsale3@yahoo.com	Malásia
2. M.A. Alghoul	dr.alghoul@gmail.com	Malásia
3. George William Hong	hong.g.aa@m.titech.ac.jp	Filipinas
4. Naoya Abe	nabe@ide.titech.ac.jp	Filipinas
5. Mizanur Rahman	mizanur1970@gmail.com; mdmizanur.rahman@aalto.fi	Bangladesh
6. L.M. Carrasco	luismiguel.carrasco@ies-def.upm.es	Marrocos
7. Brijesh Mainali	brijesmainali@hotmail.com, brijesh.mainali@energy.kth.se	Afeganistão
8. Semida Silveira	semida.silveira@energy.kth.se	Afeganistão
9. Ram C. Poudel	rcpoudel@gmail.com, rcpoudel@ioe.edu.np	Nepal

DIMENSION 3

Autor	Endereço eletrônico	País
1. Gerard George	g.george@imperial.ac.uk	Tailândia.
2. Amadu Mahama	mahama.amadu@gmail.com	Ghana
3. Antonis Tsikalakis	atsikal@power.ece.ntua.gr	África
4. T. Tomtsi	ttomtsi@gmail.com	África
5. N.D. Hatzargyriou	nh@power.ece.ntua.gr	África
6. A. Poullikas	apoullikas@eac.com.cy	África
7. Ch. Malamatenios	malam@cres.gr	África
8. E. Giakoumelos	egiakou@cres.gr	África
9. O. Cherkaoui Jaouad	o.cherkaoui@cder.org.ma	África
10. A. Fayek	aymanfayek@yahoo.com	África
11. T. Matar	tmatar@dm.net.lb	África
12. A. Yasin	ayasin@perc.ps	África
13. Chenak	chenaka@cder.dz	África

APÊNDICE C- Carta para Secretario de Estado de Água e Eletricidade de Timor-Leste



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco



Pato Branco, 08 de fevereiro de 2013.

Excelentíssimo Senhor Secretario de Estado de Eletricidade Água e Urbanização
Eng. Januario da Costa Pereira

Eu, Jose Manuel Mesquita, funcionário da antiga Secretaria de Estado da Política Energética, da Direção Nacional Para Pesquisas de Energias Alternativas, neste momento, estou cursando mestrado em engenharia elétrica na Universidade Tecnológica Federal de Paraná – na cidade de Pato Branco, estado do Paraná - Brasil, sou bolsista da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) do governo do Brasil. Tendo como orientador da pesquisa Professor Dr. Jean Marc Stephane Lafay e co-orientador professor Dr. Dalmarino Setti.

O Brasil é um país que teve experiências significativas com programas de eletrificação rural. Os primeiros programas de eletrificação rural no Brasil ocorreram em 1994, denominados PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios). A implementação do referido programa teve uma parcela expressiva de insucesso, devido a algumas deficiências na concepção e execução do programa. Em consequência disso, no ano de 2004 a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) estabeleceu por o resolução SIGFI (Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes), na tentativa de sanar as deficiências identificadas no primeiro programa, o PRODEEM. As experiências do Brasil e de outros países na implantação de programas de eletrificação rural podem servir para aprimorar o programa para o Timor-Leste.

É de meu conhecimento que a Secretaria de Estado da Política Energética foi suprimida da estrutura do governo constitucional, dessa forma, gostaria de ter informações sobre a continuidade do programa de eletrificação rural que era desenvolvido pela referida Secretaria de Estado e da estrutura que ele passa a ser vinculado na Secretaria de Estado de Eletricidade Água e Urbanização. A motivação pelo interesse reside no fato de estarmos desenvolvendo uma pesquisa sobre o estado da arte da eletrificação rural em áreas isoladas do Timor-Leste, com vistas a introduzir metodologias desenvolvidas no Brasil e no Mundo que visem à eficiência dos programas que utilizam sistemas fotovoltaicos individuais. O objetivo principal dessa pesquisa é a sustentabilidade dos projetos de sistemas fotovoltaicos implantados pelo governo de Timor-Leste.