

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO DE ELETROTÉCNICA

ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

JEFFERSON AUGUSTO CARDOZO MATIAS

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2018

JEFFERSON AUGUSTO CARDOZO MATIAS

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO EM BATERIAS**

Projeto de Monografia apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Eficiência Energética, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Roberto Cesar Betini.

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS

Por

JEFFERSON AUGUSTO CARDOZO MATIAS

Esta monografia foi apresentada às **14 h** do dia **17/05/2018** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, **Câmpus Curitiba**. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho:

1		Aprovado
2		Aprovado condicionado às correções Pós-banca, postagem da tarefa e liberação do Orientador.
3		Reprovado

Prof. Dr.Roberto Cesar Betini

Prof. Dr.Jair Urbanetz Junior

M.^a Juliana D'Angela Mariano

*“Eles não sabiam que era impossível,
então fizeram.”*

Marc Twain

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, meus pais e irmãos pelo amor, incentivo e dedicação em sempre me apoiar.

Agradeço ao Prof. Dr. Roberto Cesar Betini pela orientação, dedicação e amizade. Agradeço também a minha companheira Anna Vörös pela atenção, carinho e eterno incentivo pelo meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Agradeço ao Prof. Dr. Alexandre Rase Aoki pelo constante suporte e apoio ao meu desenvolvimento profissional.

Agradeço aos colegas de sala pela disposição, paciência, ajuda e dedicação.

Agradeço aos professores do curso de especialização em Eficiência Energética pelos ensinamentos passados, contribuindo para a minha formação.

RESUMO

MATIAS, Jefferson Augusto Cardozo. **Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Sistemas Fotovoltaicos com Armazenamento em Baterias.** 2018. 74 páginas. Especialização em Eficiência Energética - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Este trabalho aborda uma análise da viabilidade técnica e econômica na utilização de sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia elétrica em baterias.

O estudo iniciou-se pela análise da Resolução Normativa nº 556/2013 do Programa de Eficiência Energética, regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Inicialmente é apresentado o estado da arte, para situar o momento histórico dos programas de eficiência energética no país. Em seguida, apresenta-se o Procedimento do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) em especial o módulo 6 - Projetos com Fontes Incentivadas e o módulo 7 – Cálculo de Viabilidade, respectivamente. Na sequência foi realizada a análise da relação custo benefício (RCB) para três cenários de operação com um sistema de armazenamento de energia em baterias e apresentado os seus resultados.

Palavras-chave: Eficiência energética. Sistemas fotovoltaicos. Armazenamento de energia elétrica em baterias. Relação Custo Benefício.

ABSTRACT

MATIAS, Jefferson Augusto Cardozo . Technical Economic Viability of the Use of Photovoltaic Systems with Storage in Batteries. 2018. 70 pages. Specialization in Energy Efficiency – Federal University of Technology - Paraná. Curitiba, 2018.

This work addresses an analysis of the technical and economic feasibility of using photovoltaic systems with electrical energy storage.

The study began with the analysis of the Normative Resolution No. 556/2013 of the Energy Efficiency Program, regulated by the National Electric Energy Agency (ANEEL). Initially, the state of the art is presented, to situate the historical moment of the energy efficiency programs in the country. Next, the Energy Efficiency Program Procedure (PROPEE) is presented, especially modules 6 and 7, Projects with focus on renewable energy sources and module 7 - Feasibility Calculation. The cost benefit analysis (RCB) was performed for three operating scenarios with an energy storage system in batteries and presented its results.

Keywords: Energy Efficiency. Photovoltaic Systems. Electrical energy storage in batteries. Cost Benefits.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha do tempo das alterações na regulamentação do PEE.....	21
Figura 2 – Módulo do PROPEE.	22
Figura 3 - Relação Custo Benefício.	25
Figura 4 - Projeção da geração de energia fotovoltaica distribuída.....	26
Figura 5 - Esquema elétrico simplificado da usina fotovoltaica dos Institutos Lactec.	28
Figura 6 - Localização do sistema fotovoltaico.	29
Figura 7 - Esquema de montagem de painéis nos Institutos Lactec.	30
Figura 8 - Conexão dos módulos fotovoltaicos ao controlador de carga.....	31
Figura 9 - Profundidade de descarga vs número de ciclos da bateria.....	33
Figura 10 – Inversores, controladores de carga e baterias.	34
Figura 11 - Informações iniciais do projeto.	36
Figura 12 – Relação dos custos orçados do projeto.....	37
Figura 13 - Cálculo do RCB.	38
Figura 14 - Aplicações de um sistema fotovoltaico com armazenamento de energia em baterias em comparação com o cálculo do RCB.....	39
Figura 15 - Tarifas vigentes para clientes do subgrupo A4 da modalidade verde.....	41
Figura 16 - Medidor Marh 21.....	49
Figura 17 - Gráfico do perfil de carga durante o dia de análise 12/12/2017.....	51
Figura 18 - Diagrama do Cenário 1.....	52
Figura 19 - Cálculo dos custos do projeto – Cenário 1.....	53
Figura 20 - Simulação dos benefícios do Cenário 1.	54
Figura 21 - RCB 1 – Fotovoltaico sem baterias.	54
Figura 22 - Resumo da avaliação por uso final.....	55
Figura 23 - Fluxo de caixa da aplicação – RCB 1 - Sistema Fotovoltaico SEM baterias.	55
Figura 24 - Diagrama do Cenário 2.....	56
Figura 25 - Cálculo dos custos do projeto – Cenário 2.....	57
Figura 26 - Descarga da energia armazenada.	58
Figura 27 - Simulação dos benefícios – Cenário 2.....	59

Figura 28 – RCB 2 – Fotovoltaico COM baterias	59
Figura 29 - Resumo da avaliação por uso final.....	60
Figura 30 - Fluxo de caixa da aplicação – RCB 2 – Sistema Fotovoltaico COM baterias.....	60
Figura 31 - Diagrama do Cenário 3.....	61
Figura 32 - Representação de carga e descarga da Bateria.	62
Figura 33 - Cálculo dos custos do projeto – Cenário 3.	63
Figura 34 - Simulação dos benefícios - Cenário 3.	64
Figura 35 - RCB 3 – SEM fotovoltaico COM baterias.	64
Figura 36 - Dados globais de projetos de armazenamento de energia.	66
Figura 37 - Tipo de aplicações de armazenamento de energia.....	67
Figura 38 - Aba “Projeto” – Informações do projeto.....	73
Figura 39 - Aba "FIOrç" - Relação dos Custos Orçados do Projeto.	73
Figura 40 - Aba "FIBenef" - Cálculo do RCB.	74
Figura 41 - Aba "FICusto" - Cálculo dos custos do Projeto.	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Execuções à regra geral de viabilidade de projetos	23
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equipamentos a serem considerados na simulação do PEE	44
Tabela 2 – Dados de entrada da tarifa de energia	44
Tabela 3 – Dados de entrada do Sistema Fotovoltaico	45
Tabela 4 - Dados de entrada da Fonte Solar	46
Tabela 5 - Dados de entrada dos Inversores	47
Tabela 6 - Dados de entrada do Banco de Baterias.....	48
Tabela 7 - Dados de entrada do perfil de carga	50

LISTA DE SIGLAS

A	Ampère
AEE	Ação de Eficiência Energética
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEE	Custo de energia evitada
CED	Custo evitado de demanda
C20	Capacidade Nominal no Regime de 20 Horas
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GW	Gigawatt
kW	Kilowatt
kWH	Kilowatt-hora
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
MW	Megawatt
P	Potência Ativa
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
REN	Resolução Normativa
V	Volt
W	Watt

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética
PROPPE	Procedimento do Programa de Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços

Sumário

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 PESQUISA.....	17
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.3.1 Objetivo Geral.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	20
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL.....	20
2.3 PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	22
2.4 MÓDULO 6 – PROJETOS COM FONTES INCENTIVADAS.....	23
2.5 MÓDULO 7 – CÁLCULO DA VIABILIDADE	24
2.6 GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	26
2.7 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS	27
3 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS	28
3.1 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	29
3.2 CONTROLADORES DE CARGAS	31
3.3 BATERIAS	32
3.4 INVERSOR DE FREQUÊNCIA.....	33
4 METODOLOGIA PARA PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM FONTES INCENTIVADAS	35
4.1 – INFORMAÇÕES INICIAIS DO PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	35
4.2 – CÁLCULO DOS CUSTOS DO PROJETO	36
4.3 - CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS DO PROJETO	37
4.4 ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS.....	38
4.4.1 RCB1 – Relação Custo Benefício de Fontes Incentivadas – Custo Evitado de Energia	39

4.4.2 RCB 2 – Relação Custo Benefício – Fontes Incentivadas + Baterias e Tarifas Dinâmicas – Custo Evitado de Energia ²	39
4.4.3RCB 3 - Relação Custo Benefício para utilização de baterias em horários de ponta - Custo Evitado de Demanda	40
4.5 – DADOS DA CONTA DE ENERGIA.....	40
4.6 – PIMVP.....	41
5 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA	43
5.1 ARRANJO SOLAR FOTOVOLTAICO.....	43
5.2 DADOS DE ENTRADA DAS TARIFAS.....	44
5.3 DADOS DE ENTRADA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	45
5.5 DADOS DE ENTRADA DA FONTE SOLAR	45
5.6 DADOS DE ENTRADA DOS INVERSORES	46
5.7 DADOS DE ENTRADA DO BANCO DE BATERIAS.....	47
5.8 DADOS DAS CARGAS.....	48
5.9 ANÁLISE DO CENÁRIO 1	52
5.10 ANÁLISE DO CENÁRIO 2	59
5.11 ANÁLISE DO CENÁRIO 3	61
5.12 CONTRIBUIÇÕES DESTA TECNOLOGIA PARA A MATRIZ ENERGÉTICA PARANAENSE.	65
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A - Planilha do Programa de Eficiência Energética da COPEL..	71

1 INTRODUÇÃO

A adoção de modelos de oferta descentralizados de energia no Brasil, especificamente os solares fotovoltaicos, indica renovação na infraestrutura das redes elétricas, uma vez que, tal modelo, além de atender a demanda energética do consumidor, poderá disponibilizar o excedente de energia para as redes elétricas de distribuição, assim podendo contribuir com a inserção de energia limpa na matriz energética ¹.

Em conjunto com tal oferta descentralizada, este estudo aborda a viabilidade econômica da utilização de sistemas solares fotovoltaicos com armazenamento de energia em baterias sob abordagem de eficiência energética.

O estudo de viabilidade econômica tem como critério de avaliação, a RCB (relação custo benefício) considerando a valoração da energia economizada e a redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto.

Este trabalho também contribui com as pesquisas que visam questões ambientais na utilização de energias renováveis, por exemplo, a redução de emissão de gases de efeito estufa (CO₂), uma vez que, será utilizada a energia solar como fonte de geração de eletricidade. Outro aspecto ambiental muito relevante é a conservação do volume de água em reservatórios das hidroelétricas, pois com a utilização de fontes renováveis, posterga-se a utilização da água e reduz a necessidade de utilização da energia proveniente de usinas térmicas durante os períodos de seca.

Desta forma, a análise da viabilidade econômica no desenvolvimento tecnológico do arranjo solar fotovoltaico com armazenamento de energia em baterias será estudada com a finalidade de contribuir com a conservação de energia, buscando a eficiência energética para os usuários de tais tecnologias.

Dito isto, outro ponto a ser observado é a problemática da intermitência das fontes renováveis, onde o armazenamento de energia em baterias poderá ser um elemento relevante não somente para atender tais momentos, intermitência de geração, mas na utilização de energia em horários de ponta.

¹ Este trabalho faz parte de estudos do Projeto de P&D PD 2866-0464/2017 “Metodologia Para Análise, Monitoramento e Gerenciamento da GD por Fontes Incentivadas”.

O objetivo deste trabalho é contribuir com as pesquisas na área de geração de energias provenientes de fontes renováveis e seu armazenamento em baterias.

1.1 JUSTIFICATIVA

O tema foi escolhido devido à oportunidade de pesquisa de viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia em baterias. Uma vez que a metodologia existente, disponibilizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, através do PEE (Programa de Eficiência Energética), utiliza o cálculo de viabilidade RCB (Relação Custo Benefício). A proposta é implementar tal metodologia para analisar um arranjo fotovoltaico com armazenamento em baterias (ANEEL, 2013).

“O mundo necessita de uma indústria revolucionária na qual fontes de energias serão econômicas, acessíveis e sustentáveis” (CHU; MAJUMDAR, 2012).

1.2 PESQUISA

Devido à grande oferta de fontes renováveis de energia disponíveis no Brasil e a sua importância como complemento de energia limpa para a matriz energética, esta pesquisa visa estudar os resultados da viabilidade econômica na utilização de um sistema solar fotovoltaico com armazenamento em baterias.

Desta forma a energia gerada pelo sistema solar fotovoltaico poderá ser armazenada para utilização em horários onde a energia for mais cara, tarifa dinâmica, em horários de ponta. E para consumo das instalações em outros momentos do dia.

Um ponto relevante, que reforça a necessidade desta pesquisa, partiu da ANEEL através da chamada pública número 21/2016, “Arranjos Técnicos e Comerciais Para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro” (ANEEL, 2016) que tem o objetivo estudar as tecnologias de armazenamento de energia e as suas aplicações em redes elétricas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo de viabilidade econômica para sistemas fotovoltaicos com armazenamento em baterias.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica das aplicações de sistemas fotovoltaicos com armazenamento em baterias.
- Analisar e apresentar a relação custo benefício de três modelos de negócio envolvendo um arranjo fotovoltaico com armazenamento de energia em baterias através da Relação Custo Benefício.
- Apresentar um fluxo de caixa para cada modelo de negócio.
- Apresentar uma estimativa da contribuição em termos de redução de energia com o uso da tecnologia de armazenamento na matriz elétrica Paranaense.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este documento está dividido em seis capítulos. O capítulo 1, Introdução, aborda o contexto do tema da pesquisa e os objetivos a serem alcançados. O capítulo 2, Fundamentação Teórica, consiste em uma revisão bibliográfica referente à Eficiência Energética, o Programa de Eficiência Energética, módulo 6 – Projetos com Fontes Incentivadas, módulo 7 – Cálculo da Viabilidade, Geração Fotovoltaica no Brasil e por fim, Armazenamento de Energia em Baterias. O capítulo 3, Sistema Solar Fotovoltaicos com armazenamento de energia em Baterias, da tecnologia dos módulos fotovoltaicos, tecnologia da bateria, tecnologia do controlador de carga, tecnologia do inversor. O capítulo 4, Metodologia para Projetos de Eficiência Energética com fontes incentivadas, descreve como proceder para realizar o cálculo do custo benefício para os projetos de Eficiência Energética. O capítulo 5, Análise de Viabilidade Técnica e Econômica, apresenta as simulações e os resultados obtidos. Por fim, no ultimo capítulo, as Conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados os conceitos sobre eficiência energética. Apresenta-se o programa de eficiência energética do ponto de vista de sua regulamentação e suas ferramentas de análise econômica em projetos focados em conservação de energia.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência no uso da energia entrou na agenda mundial a partir do choque do preço do petróleo na década de 1970, quando ficou claro que o uso das reservas de recursos fósseis teriam custos crescentes, no ponto de vista econômico, ambiental, social e cultural (EPE, 2016 a).

Desta forma, a eficiência energética busca contribuir com a utilização adequada dos insumos energéticos.

Um exemplo do benefício das ações de eficiência energética é a redução do custo de produção, uma vez que a proposta é a realização das atividades no mesmo nível de produtividade uma vez que serão reduzidos os valores pagos nas contas de energia.

Com a redução constante dos valores dos equipamentos necessários para implantação de sistemas de geração de energias renováveis, observa-se que os consumidores residências e comerciais estão adotando a estratégia de utilização de energia fotovoltaica conectada à rede como forma de redução de suas contas de energia. Outra ação de eficiência energética muito utilizada é a substituição de equipamentos menos eficientes como lâmpadas fluorescentes por lâmpadas com tecnologia de Led (*Light Emitting Diode*). Ainda, outra medida utilizada no momento de aquisição de um novo equipamento é observar se o mesmo possui o selo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). Este selo permite ao consumidor conhecer qual o nível de eficiência energética o equipamento possui.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL.

No Brasil a obrigatoriedade referente ao assunto eficiência energética instituiu-se após a aprovação da Lei Federal no. 9.991, de 24 de Julho de 2000,

onde as distribuidoras e permissionárias de energia elétrica são obrigadas a investir 0,5% de sua receita operacional líquida (ROL) em Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e 0,5% através do Programa de Eficiência Energética (PEE). Conforme a Figura 1 onde está apresentado as alterações da regulamentação do PEE.

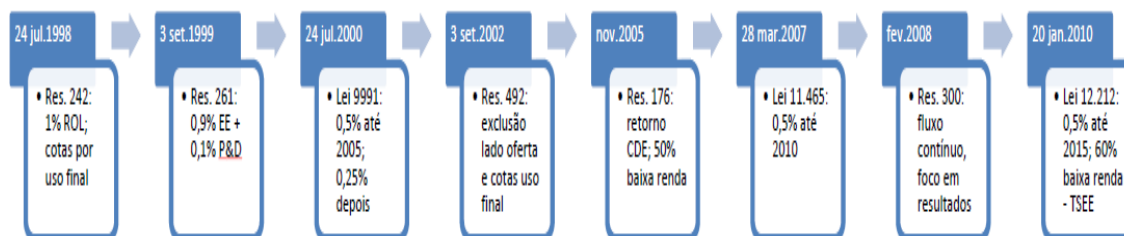


Figura 1 – Linha do tempo das alterações na regulamentação do PEE.

Fonte: ANEEL, 2013.

Outro momento importante foi o ato que sancionou a Lei Federal no. 10.295, de 17 de Outubro de 2001, onde informa no Art.1º. A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia visa à alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. Os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, constantes da regulamentação específica estabelecida para cada tipo de máquina e aparelho.

De acordo com a ANEEL (ANEEL, 2013), foi definido como objetivo do PEE (Programa de Eficiência Energética) o desenvolvimento de projetos que demonstre o combate ao desperdício e conservação de energia através de cálculos de viabilidade e ações de eficiência energética.

Dito isto, no próximo tópico é detalhado a importância do PEE.

2.3 PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

Através da Resolução Normativa n. 566 de 18 de junho de 2013 onde foi aprovado o documento que define a aplicação do Procedimento do Programa de Eficiência Energética.

Este Programa apresenta as etapas e as obrigatoriedades e o alinhamento dos agentes de eficiência energética no Brasil.

O Procedimento do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) com seu objetivo de promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia está dividido em 10 módulos, conforme Figura 2. Desta forma, se tornando um guia que obrigatoriamente deve ser seguido por todas as distribuidoras de energia para o planejamento e execução de projetos do Programa de Eficiência Energética.

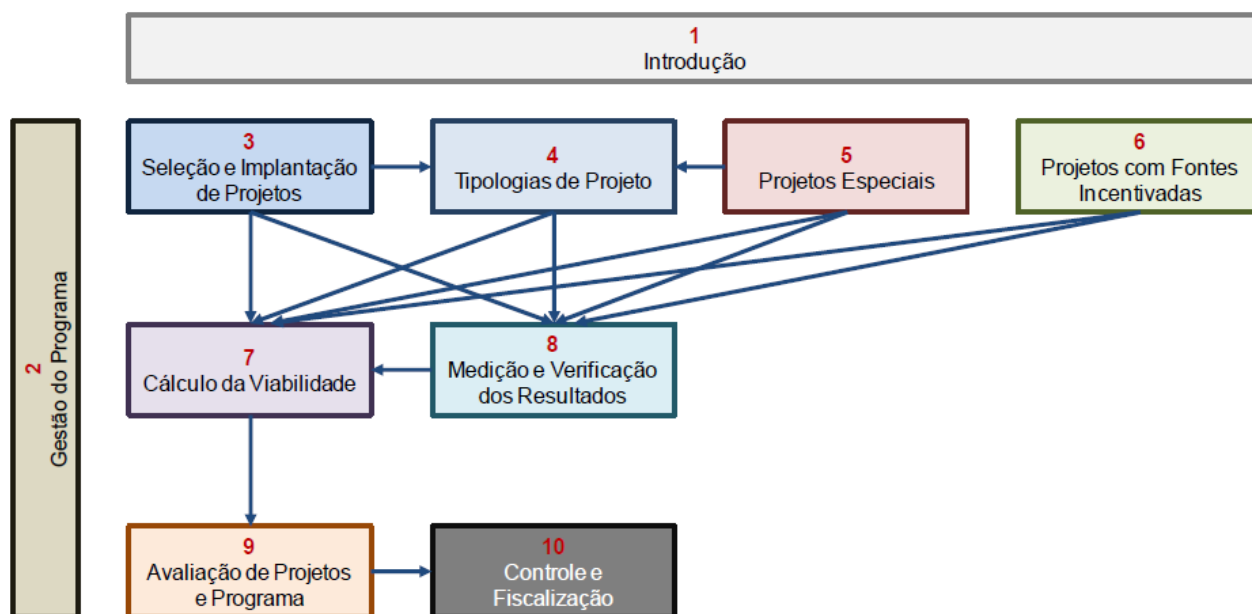


Figura 2 – Módulo do PROPEE.

Fonte: ANEEL, 2013.

Dentre os 10 modelos apresentado acima, utiliza-se como base para o desenvolvimento os módulos 6 – Projetos com Fontes Incentivadas e o módulo 7 – Cálculo de Viabilidade.

2.4 MÓDULO 6 – PROJETOS COM FONTES INCENTIVADAS

Este módulo do PROPEE estabelece as diretrizes de projetos de eficiência energética com inserção de fontes renováveis de energia. Portanto, serão apresentadas as resoluções normativas para esta aplicação, Resoluções Normativas nº 482/2012 (ANEEL, 2012) e a sua atualização nº 687/2015 (ANEEL, 2015) que entrou em vigor em 1 de Março de 2016.

Conforme o artigo 1º da Resolução Normativa nº 687, as novas regras permitem que o consumidor brasileiro gere a sua própria energia elétrica através de qualquer fonte renovável (solar, eólica, hidráulica, biomassa, etc.) ou cogeração qualificada, classificando-se como microgeração distribuída a central geradora com potência instalada de até 75 kW e minigeração distribuída aquela com potência instalada acima de 75kW e menor ou igual a 5MW (sendo 3 MW para fontes hídricas), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

De acordo com o PROPEE, para um projeto ser considerado viável no Programa de Eficiência Energética, para fontes incentivadas, ele deve possuir uma relação custo-benefício entre 0,8 e 1,0. Para casos especiais, a flexibilização é possível, desde que obedecidas as regras apresentadas no Quadro 1.

O Quadro 1 apresenta os tipos de projetos e a regra para a relação custo-benefício correspondente.

Tipos de projetos	Regra para a relação custo-benefício (RCB)
Contrato de desempenho	Relação custo-benefício máxima de 0,9, desde que avaliado por ações de medição e verificação - M&V com precisão de 10% a 95% de confiabilidade.
Projeto piloto	Avaliação inicial detalhada.
Projeto de grande relevância	Avaliação inicial para se apurar a existência de outros benefícios relevantes.
Educacional	Avaliação inicial para projetos educacionais.
Gestão energética municipal	Avaliação inicial para verificação da capacidade de atendimento às metas definidas para esta tipologia.
Fontes incentivadas	Avaliação inicial para apuração do benefício adicional da central geradora de um projeto com fonte incentivada, com relação custo-benefício entre 0,8 e 1,0.

Quadro 1 - Execuções à regra geral de viabilidade de projetos.

Fonte: ANEEL, 2013.

2.5 MÓDULO 7 – CÁLCULO DA VIABILIDADE

Este módulo do PROPEE tem como objetivo principal estabelecer diretrizes para o cálculo da viabilidade econômica dos projetos de eficiência energética.

De acordo com a ANEEL (ANEEL, 2013), o principal critério para avaliação de viabilidade econômica de um Projeto de Eficiência Energética (PEE) é a relação custo benefício (RCB) que ele proporciona.

Portanto, o critério aceitável para o avaliação econômica de viabilidade de um projeto é a RCB. A relação custo-benefício (RCB) do projeto será atrelada ao custo marginal de expansão do sistema de cada distribuidora. Neste contexto, uma relação custo-benefício de 0,8 significa que o custo para se “economizar” 1 MWh através do Programa de Eficiência Energética é 20% inferior ao custo que se teria para se gerar o mesmo 1 MWh através da expansão do sistema elétrico. Na Equação 1 é apresentado a fórmula do cálculo da relação-custo benefício.

$$RCB = (CA_t)/(BA_t) \quad (1)$$

CA_t: Custo anualizado total: R\$/ano

BA_t: Benefício anualizado: R\$/ano

Fonte: ANEEL, 2013.

Na Equação 2 é apresentado a fórmula dos Benefícios Anualizados do projeto BA_t.

$$BA_t = (EE \times CEE) + (RDP \times CED) \quad (2)$$

BA_t: Benefício anualizado: R\$/ano

EE: Energia anual economizada: MWh/ano

CEE: Custo Unitário de energia: R\$/MWh

RDP: Demanda evitada na ponta: kW/ano

CED: Custo unitário evitado da demanda: R\$/kW ano

Fonte: ANEEL, 2013.

Na Equação 3 é apresentado a fórmula dos Custos Anualizados do projeto CA_t.

$$CA_t = \sum_n CA_n \quad (3)$$

CA_n: Custo anualizado de cada equipamento incluindo custos relacionados (mão de obra, etc.)

Fonte: ANEEL, 2013.

Na Equação 4 é apresentado a fórmula dos Custos Anualizados dos equipamentos do projeto CA_n.

$$CA_n = CEn \times \frac{CT}{CEt} \times FRC \quad (4)$$

CA_n: Custo anualizado dos equipamentos incluindo custos relacionados (mão de obra, etc.):R\$

CEn: Custo de cada equipamento:R\$

CT: Custo total do projeto: R\$

CEt: Custo total do equipamento: kW/ano

FRC: Fator de recuperação do capital para *u* anos – 1/ano

u = Vida útil do equipamento

Fonte: ANEEL, 2013.

Na Figura 3, foi detalhada a composição da Relação Custo Benefício, ou seja, o custo unitário de energia economizada e o custo unitário da demanda reduzida pelo benefício da energia e o benefício da demanda.

Benefícios							
1	Energia economizada	EE	MWh/ano	Custo unitário energia	CEE	Benefício energia	BA _E =EE*CEE
2	Demanda reduzida na ponta	RDP	kW.ano	Custo unitário demanda	CDE	Benefício demanda	BA _D =RDP*CDE
						Benefício total	BA _T =BA _E +BA _D
						RCB	CA_T/BA_T

Figura 3 - Relação Custo Benefício.

Fonte: Fonte: ANEEL, 2013.

2.6 GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

A geração fotovoltaica de energia elétrica tem um grande potencial no Brasil. Fazendo um comparativo com a Alemanha que tem a 2ª. maior geração fotovoltaica do planeta. No local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade proveniente da energia solar do que no local mais ensolarado da Alemanha (SOLAR, 2017).

De acordo com a (EPE, 2016 b), a modalidade solar fotovoltaica, confere grande possibilidade de aplicação na geração distribuída no horizonte de 2050. A Figura 4 apresenta o crescimento da geração fotovoltaica distribuída. Os valores de referência que são valores considerando adoção de novas políticas, que são expectativas relacionadas a investimentos governamentais à adoção energias provenientes de fontes solares.

Segundo (BETINI, 2012), as lideranças governamentais tem responsabilidade com o problema energético de sua região. Definindo as estratégias e viabilizando a implantação de novas fontes de energia.

Assim, na projeção referência, estima-se que a geração distribuída fotovoltaica atinja uma capacidade instalada de aproximadamente 12 GWp em 2050 (EPE, 2016).

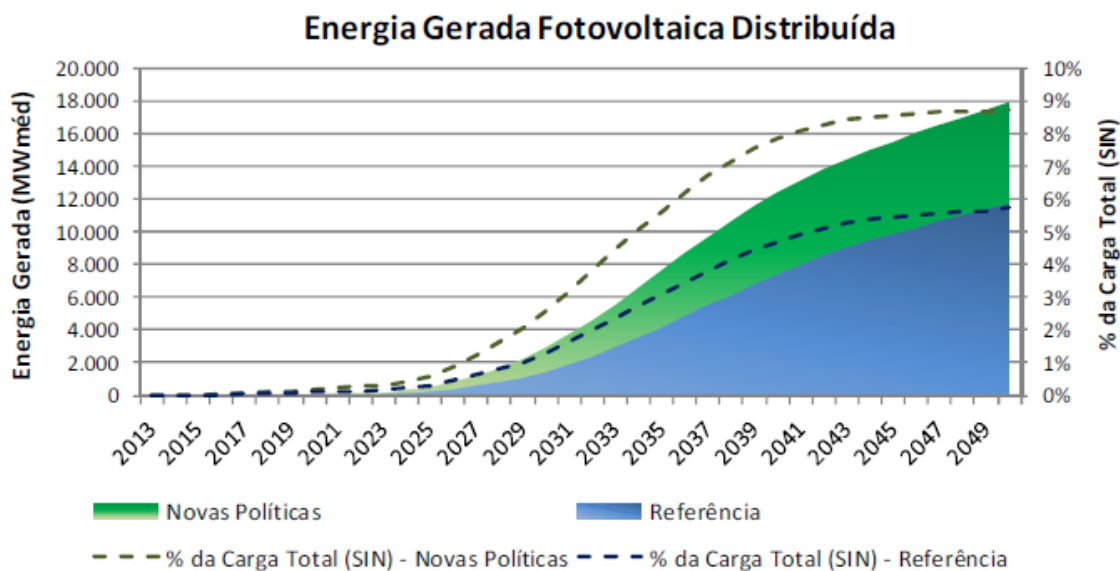


Figura 4 - Projeção da geração de energia fotovoltaica distribuída.

Fonte: (EPE, 2016 b).

Outro ponto positivo, a energia solar é a mais popular entre os recursos energéticos distribuídos. Isto é, principalmente porque a energia solar é sustentável e amplamente disponível, ao contrario dos combustíveis fósseis, a energia solar tem um impacto ambiental mínimo.

“A tecnologia solar é uma tecnologia de energia mais democrática. Não tem relação com o aumento de preço dos combustíveis e a manutenção de rotina é menor que as plantas de energias elétricas convencionais” (BLAKERS; WEBER, 2017).

2.7 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS

A base de um sistema de armazenamento de energia é a capacidade deste sistema em gerar energia suficiente para atender a demanda a preços acessíveis, fornecer eletricidade limpa, segura e confiável (MORAES; OLIVEIRA, 2010).

Desta forma, o armazenamento de energia em baterias pode ser utilizado como estratégia de gerenciamento energético e assim disponibilizando energia durante o consumo no horário de ponta. Outro ponto fundamental é a participação da ANEEL com a Chamada No 021/2016 - Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos E Comerciais Para a Inserção De Sistemas De Armazenamento De Energia No Setor Elétrico Brasileiro.”, 2016 que visa integração e geração de novo conhecimento tecnológico para este tema relevante para o Brasil (ANEEL, 2016).

De acordo com CHU; MAJUMDAR, (2012) a confiabilidade e a eficiência do sistema de transmissão e distribuição são melhoradas pelo armazenamento de energia na rede. O equilíbrio e a otimização do fluxo e geração de energia são desafios que precisam de tecnologia aprimorada, visão comercial e regulamentar. Melhorias significativas ajudariam a realizar mercados energéticos mais eficientes, menor custo de energia, maior confiabilidade e segurança e penetração de energia renovável.

3 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS

O sistema solar fotovoltaico com armazenamento em baterias que é usado e é foco desta pesquisa está instalado e em operação dentro dos Institutos Lactec. Este sistema já fez parte de estudo do programa de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL, *Smart Grids da Light SESA*, bem como trabalhos acadêmicos, (FERRONATO,2014; FREHNER,2017).

Tal arranjo é composto pelas seguintes tecnologias;

- Painéis Fotovoltaicos
- Controlador de Carga
- Baterias
- Inversor
- Cargas AC

A Figura 5 apresenta o esquema elétrico simplificado da usina fotovoltaica dos Institutos Lactec. Serão apresentados detalhadamente cada componente e sua tecnologia durante este capítulo.

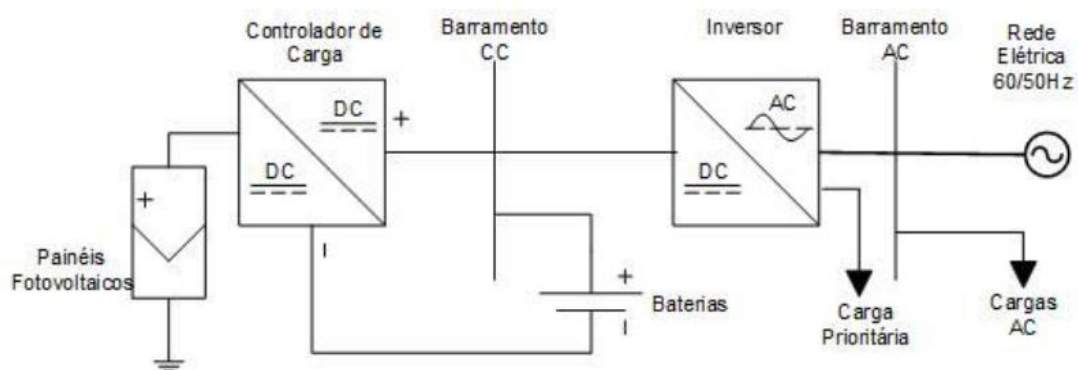


Figura 5 - Esquema elétrico simplificado da usina fotovoltaica dos Institutos Lactec.

Fonte: Ferronato (2014).

3.1 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares (ANEEL, 2005).

O arranjo solar fotovoltaico instalado nos Institutos Lactec é formado por 132 módulos de silício monocristalino com uma potência total instalada de 30,36 kW. Cada módulo pode fornecer até 230W e apresenta uma tensão de máxima de 29,9 V e uma corrente de 7,69 A. O fabricante do painel solar é a empresa WSolar, modelo YZM230M-60, que apresenta 25 anos de garantia (FREHNER, 2017). A Figura 6 apresenta a unidade LAC dos Institutos Lactec, onde se encontra o sistema fotovoltaico, localizado na Rodovia BR-116, km 98, nº. 8.813, Jardim das Américas, Curitiba.



Figura 6 - Localização do sistema fotovoltaico.

Fonte: Autoria própria, 2018.

A Figura 7 representa o telhado do estacionamento dos Institutos Lactec onde estão instalados os 132 módulos fotovoltaicos, fornecendo uma potência instalada de 30,36kW. Os painéis foram subdivididos em grupos de 1 a 9. Cada um dos grupos estão conectados a um inversor e a um controlador de carga. Ferronato (2014).

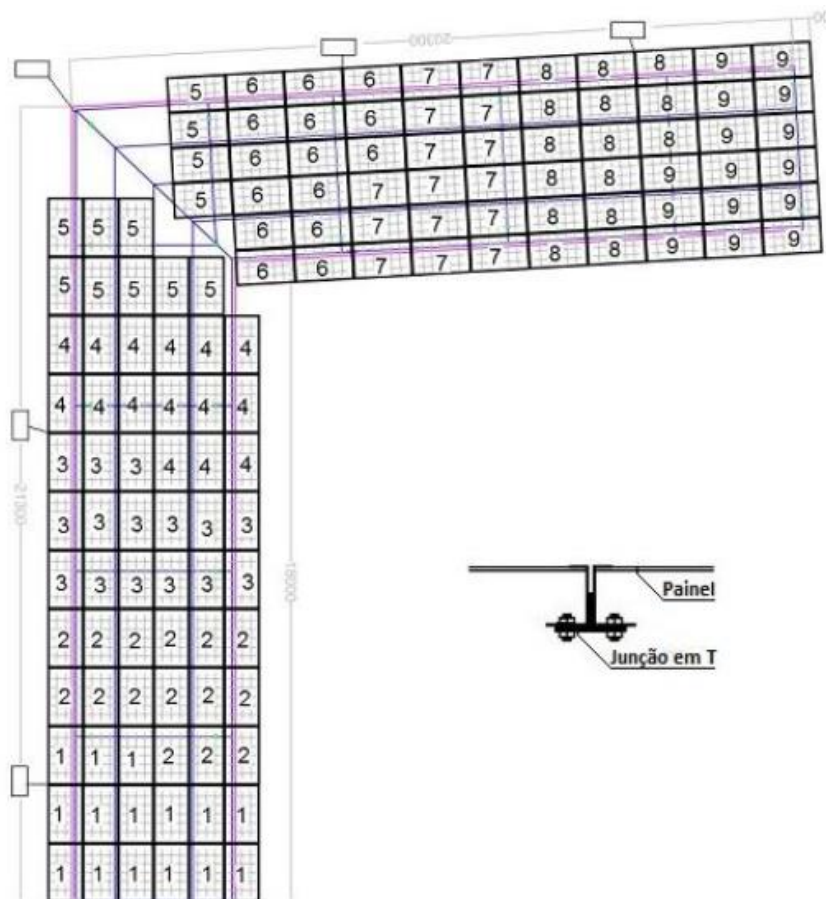


Figura 7 - Esquema de montagem de painéis nos Institutos Lactec.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Para maximizar a geração anual em um sistema fotovoltaico conectado a rede, a inclinação dos módulos deve ser correspondente à latitude local, para o caso de Curitiba, 25° e orientado para o norte geográfico. Obtidos os valores de irradiação diários médios mensais no plano do painel fotovoltaico.

3.2 CONTROLADORES DE CARGAS

O controlador de carga é um equipamento responsável por controlar os níveis de carga e descarga das baterias proveniente da energia produzida pelo sistema solar fotovoltaico.

Este controle está diretamente relacionado com a vida útil das baterias uma vez que a sobrecarga e a descarga profunda além de danificar as baterias podem aumentar a necessidade de manutenção.

O controlador de carga conectado entre a bateria e os módulos fotovoltaicos dos Institutos Latic é do fabricante Outback Power Technologies, modelo FLEXMax 80 (OUTBACK POWER, 2017). No total são 9 controladores conectados a cada arranjo dos painéis fotovoltaicos do sistema de geração distribuída (FREHNER, 2017).

O modelo do controlador o qual foi utilizado é o MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) o qual monitora o ponto máximo de potência dos painéis fotovoltaicos e a tensão de carga das baterias é de 14,4 V e a descarga 11,4 V.

A Figura 8 apresenta o esquema de conexão dos painéis fotovoltaicos aos controladores de carga. À esquerda está representado o grupo com 15 módulos (três em série, cinco linhas em paralelo) e à direita, o grupo com 12 módulos (três em série, quatro linhas em paralelo) (FREHNER, 2017).

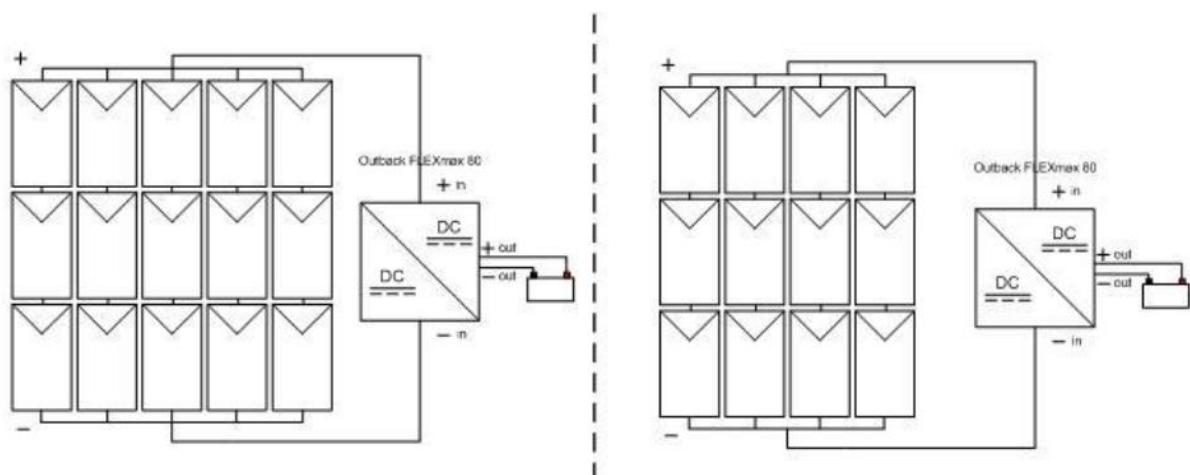


Figura 8 - Conexão dos módulos fotovoltaicos ao controlador de carga.

Fonte: Ferronato (2014).

3.3 BATERIAS

A falta de modelos de armazenamento de energia que consideram o desempenho e a durabilidade para calcular os benefícios econômicos é uma das principais lacunas impedindo uma compreensão completa dos benefícios do armazenamento de energia em baterias (PARRA, 2016). Neste arranjo solar fotovoltaico, o armazenamento de energia através de baterias, neste caso, eletroquímicas, terá uma aplicação importante no mercado energético. Pois a energia armazenada, poderá ser utilizada ao longo do dia, como uma possível mitigação a um sistema de tarifa dinâmica. Outra possível aplicação é a utilização da energia armazenada durante o período de ponta definido pela concessionária entre às 18h e 21h. Desta forma, reduzindo a necessidade de geração de energia elétrica.

Este arranjo solar fotovoltaico é composto por 20 baterias estacionárias de chumbo ácido, do fabricante Moura Clean, modelo 12MF220. Cada bateria do tipo, Moura Clean, possui tensão nominal de 12 V e uma capacidade de 220 Ah (MOURA,2014).

Para que fossem compatíveis com os controladores de carga, as baterias foram divididas em 5 grupos em paralelo que contém 4 baterias em série, totalizando 48 V e capacidade de 1100 Ah, uma vez que a associação em série possibilita aumento da tensão e em paralelo possibilita aumento da corrente, elevando-se a capacidade de acumular mais energia (FREHNER, 2017).

Em relação ao funcionamento das baterias, apresenta-se dois pontos relevantes para o desempenho e a sua durabilidade. O primeiro ponto é o regime de ciclos constantes de carga e descarga, que caracteriza a vida útil das baterias. O segundo ponto é a profundidade de descarga. Na Figura 9 o fabricante apresenta um gráfico de uma curva composta por número de ciclos *versus* profundidade de descarga.

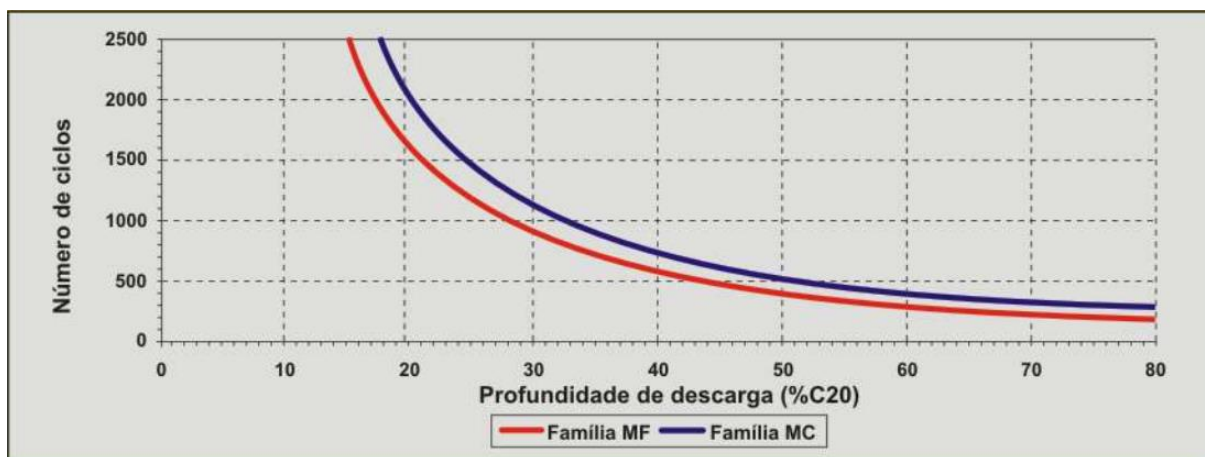


Figura 9 - Profundidade de descarga vs número de ciclos da bateria.

Fonte: MOURA (2014).

Desta forma, verifica-se que quanto mais profunda a descarga menor o número de ciclos da bateria e assim menor a vida útil.

3.4 INVERSOR

Na rede elétrica convencional, a corrente elétrica apresenta-se na forma alternada (CA). Já os painéis fotovoltaicos e as baterias de armazenamento de energia têm como saída uma corrente na forma contínua (CC). Dessa forma, para possibilitar a conexão da usina fotovoltaica à rede de distribuição é necessária a utilização de um conversor CC/CA conhecido também como inversor (FREHNER, 2017).

O Inversor instalado nos Institutos Lactec trabalha conectado na rede de distribuição de energia (*Grid-Tie*). Este equipamento é da marca Outback Power e o modelo GVFX3648LA, fornecendo uma potência de saída de 3600 VA e com eficiência de 93%, onde a tensão de entrada CC é 48 V e a tensão de saída CA é de 127 V.

O sistema solar fotovoltaico em questão é composto por 9 inversores divididos em 3 grupos e em cada grupo, um dos inversores trabalha como mestre e os demais como escravo.

Em relação à segurança para a instalação de equipamentos solares, os inversores da marca Outback Power atende a regulamentação UL 1741, que define a utilização de equipamentos que trabalham conectados à rede (*Grid-Tie*) e que trabalhe de forma desconectada da rede de distribuição (*Off-Grid*).

A Figura 10 tem como objetivo ilustrar a instalação dos 9 inversores de frequência posicionados na parte superior da imagem (1) e os 9 controladores de carga posicionados na parte inferior da imagem (2) e 20 baterias conforme imagem (3). O funcionamento e o detalhamento das tecnologias aplicadas estão apresentados nos capítulos 3.2, 3.3 e 3.4 respectivamente.



Figura 10 – Inversores, controladores de carga e baterias.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Nesta seção foi detalhada a parte técnica do sistema em análise e a tecnologia empregada para geração de energia solar fotovoltaico e o armazenamento de energia em baterias. Na próxima seção será apresentada a metodologia para projetos de eficiência energética com fontes renováveis.

4 METODOLOGIA PARA PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM FONTES INCENTIVADAS

Os projetos de eficiência energética a serem apresentados em chamadas públicas seguem critérios para aplicação e procedimentos necessários para sua apresentação para a distribuidora de energia elétrica local. Outro ponto importante que auxilia a elaboração dos projetos é a planilha eletrônica disponibilizada pela concessionária local, neste caso, será utilizada a planilha eletrônica disponibilizada pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL).

4.1 – INFORMAÇÕES INICIAIS DO PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Conforme informado no início deste capítulo, neste trabalho será utilizada uma planilha eletrônica para os cálculos da Relação Custo Benefício RCB. O nome da planilha é Planilha RCB PEE COPEL - Resolução ANEEL². Após realizar o *download* da planilha no site indicado, inicia-se as simulações cadastrando as informações do projeto.

Ao iniciar um Projeto de Eficiência Energética a primeira “aba” da planilha eletrônica a ser preenchida é a Projeto. Nesta aba serão apresentadas as informações sobre a identificação do projeto de eficiência energética (1), identificação da unidade consumidora beneficiada (2) e a identificação da empresa responsável pelo projeto (3). Conforme apresentado na Figura 11.

² Disponível no site da COPEL, no seguinte endereço eletrônico: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/planilha_rcb_pee_copel_-_resolucao_aneel_2096_2016-v0_22_06_2016/\\$FILE/Planilha%20RCB%20PEE%20COPEL%20-%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20ANEEL%202096_2016%20-%20v0%2022_06_2016.xlsx](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/planilha_rcb_pee_copel_-_resolucao_aneel_2096_2016-v0_22_06_2016/$FILE/Planilha%20RCB%20PEE%20COPEL%20-%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20ANEEL%202096_2016%20-%20v0%2022_06_2016.xlsx)>. Acesso em 25.03.2018

PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				
IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				
1	Concessionária	Copel Distribuição S.A.	CNPJ	04.368.898/0001-06
	Nome do projeto			
	Tipologia do projeto	Selecione a tipologia		
IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA BENEFICIADA				
2	Nome	INSTITUTOS LACTEC		
	Endereço	Rodovia BR 116, km 98, nº 8.813		
	CNPJ		Unidade consumidora	
	Responsável	Pesquisador 01		
	Telefone		e-mail	
	Localização	Curitiba (PR) - LES		
	Atividade	Com fins lucrativos		
	Tipo de empresa	Demais empresas		
	Modalidade tarifária	Tarifa verde		
	Subgrupo tarifário	A4 - De 2,3 kV a 25 kV		
IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA RESPONSÁVEL PELO PROJETO				
3	Nome da empresa	Jefferson Matias		
	Endereço	Rodovia BR 116, km 98, nº 8.813		
	Município	Curitiba	Estado	--
	CNPJ	2222.222.222/2222-20		
	Responsável técnico			
	Telefone		e-mail	








Figura 11 - Informações iniciais do projeto.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Apresentadas as informações iniciais, iniciou-se a análise dos custos e dos benefícios do projeto.

4.2 – CÁLCULO DOS CUSTOS DO PROJETO

Nesta etapa do projeto serão inseridos os valores de mercado, divididos por fornecedores para os materiais e equipamentos (1), mão de obra de terceiros (2), descarte de materiais (3) e outros custos indiretos (4). A Figura 12 apresenta a aba chamada “Florç” onde será preenchido os custos para este projeto.

FONTES INCENTIVADAS								
CUSTOS DIRETOS								
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				COMPARAÇÃO DE PREÇOS				
Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Menor valor unitário	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	
1 Módulos Fotovoltaicos	25,00	132	R\$ 800,00	R\$ 1.000,00	R\$ 900,00	R\$ 800,00		
2 Controlador de Carga	20,00	9	R\$ 3.800,00	R\$ 4.000,00	R\$ 3.900,00	R\$ 3.800,00		
3 Baterias	10,00	20	R\$ 1.000,00	R\$ 1.200,00	R\$ 1.100,00	R\$ 1.000,00		
4 Inversor	25,00	9	R\$ 6.600,00	R\$ 6.800,00	R\$ 6.700,00	R\$ 6.600,00		
5 Miscelâneos			R\$ -					
MÃO DE OBRA DE TERCEIROS				COMPARAÇÃO DE PREÇOS				
Mão de obra de terceiros	Quantidade	Horas	Menor valor unitário	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	
1 Instalação	1	200,00	R\$ 80,00	R\$ 100,00	R\$ 90,00	R\$ 80,00		
2 Comissionamento	1	200,00	R\$ 80,00	R\$ 100,00	R\$ 90,00	R\$ 80,00		
CUSTOS INDIRETOS								
DESCARTE DE MATERIAIS				COMPARAÇÃO DE PREÇOS				
Descarte de materiais	Quantidade	Menor valor unitário	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4		
1 Descarte de obra	1	R\$ 800,00	R\$ 1.000,00	R\$ 900,00	R\$ 800,00			
2		R\$ -						
OUTROS CUSTOS INDIRETOS				COMPARAÇÃO DE PREÇOS				
Outros custos indiretos	Quantidade	Menor valor unitário	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4		
1 Depreciação	1	R\$ 800,00	R\$ 1.000,00	R\$ 900,00	R\$ 800,00			
2 Manutenção	2	R\$ 800,00	R\$ 1.000,00	R\$ 900,00	R\$ 800,00			
3 Treinamento	4	R\$ 800,00	R\$ 1.000,00	R\$ 900,00	R\$ 800,00			

Figura 12 – Relação dos custos orçados do projeto.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Todos os custos de matérias e equipamentos, mão de obra de terceiros, descarte e outros custos indiretos foram inseridos nesta planilha conforme apresentado na Figura 12.

4.3 - CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS DO PROJETO

Nesta etapa do projeto, será alcançado o resultado da Relação Custo Benefício. Com os valores de mercado inseridos na planilha eletrônica, especificamente na aba “Florç” conforme apresentado na Figura 12, será calculado a Relação Custo Benefício (RCB) automaticamente descrita pela equação 1. Localizada na sessão 2.5 Módulo 7 – Cálculo de Viabilidade. Este projeto, “Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Sistemas Fotovoltaicos com Armazenamento de Energia em Baterias”, contempla somente o uso final do sistema fotovoltaico com armazenamento de energia em baterias. Outros projetos apresentados ao PEE (Programa de Eficiência Energética), contem substituição de motores, lâmpadas e aparelhos de ar condicionado. Mas o foco desta pesquisa é analisar um sistema fotovoltaico com armazenamento de energia em baterias conforme Figura 13, fontes de energias incentivadas, neste caso fotovoltaico com baterias.

FONTES INCENTIVADAS - SISTEMA PROPOSTO - EX ANTE						
				TOTAL	fi 1	
1	Tipo de equipamento / tecnologia				Sistema FV	
2	Potência nominal da central geradora	Wp	pp_i		230,00	
3	Quantidade de centrais geradoras		qp_i	132	132	
4	Potência instalada de geração	kWp	Pp_i	30,36	30,36	
5	Potência nominal do inversor	W	pi_i		3.600,00	
6	Quantidade de inversores		qi_i	9	9	
7	Potência instalada de inversores	kW	Pi_i	32,40	32,40	
FONTES INCENTIVADAS - RESULTADOS ESPERADOS						
				TOTAL	fi 1	
11	Demanda atendida pela fonte incentivada na ponta		kW	DA_{pi}	0,00	
	Tarifa de demanda na ponta (R\$/kW)	16,17	R\$	0,00	0,00	
12	Demanda atendida pela fonte incentivada fora da ponta		kW	DA_{Fpi}	33,80	
13	Energia gerada pela fonte incentivada na ponta		MWh/ano	EG_{pi}	0,57	
	Tarifa de energia na ponta (R\$/MWh)	1.590,00	R\$	900,70	900,70	
14	Energia gerada pela fonte incentivada fora da ponta		MWh/ano	EG_{Fpi}	51,09	
	Tarifa de energia fora de ponta (R\$/MWh)	430,00	R\$	21.967,98	21.967,98	
15	Energia gerada		MWh/ano	EG_i	51,65	
Benefício anualizado fontes incentivadas - Ex ante				R\$	B_{Fi}	22.868,68
				RCB_{Fi}	0,84	
				RCB_{PEE}	0,84	

Figura 13 - Cálculo do RCB.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Conforme apresentado na Figura 13, O valor da tarifa de energia (R\$/MWh) multiplicado pela energia gerada fora de ponta (R\$/MWh/Ano) atende os critérios do Programa de Eficiência Energética (PEE), uma vez que a relação custo benefício está dentro dos quesitos aceitáveis pelo programa.

4.4 ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS

As análises a serem realizadas neste trabalho tem como foco principal comparar 3 aplicações de um sistema fotovoltaico com armazenamento de energia em baterias relacionando o custo benefício das aplicações com base nos valores calculados automaticamente pela planilha eletrônica do Programa de eficiência energética da ANEEL, ANEEL (2013). Na Figura 14, o objetivo é apresentar um

esquema ilustrativo de como os cenários RCB1, RCB2 e RCB3, focos desta pesquisa irão operar.

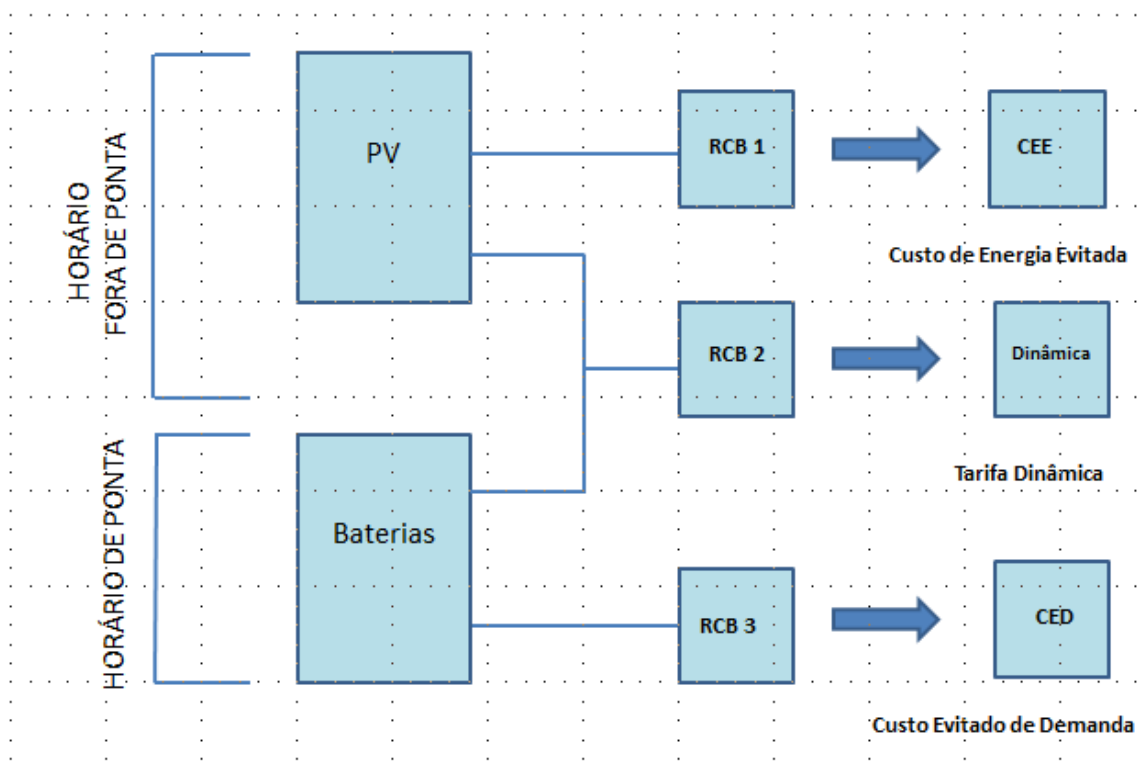


Figura 14 - Aplicações de um sistema fotovoltaico com armazenamento de energia em baterias em comparação com o cálculo do RCB.

Fonte: Autoria própria, 2018.

4.4.1 RCB1 – Relação Custo Benefício de Fontes Incentivadas – Custo Evitado de Energia

O valor do RCB 1 será obtido após a inserção dos dados de custos anualizados e benefícios anuais na planilha eletrônica disponibilizada pela Copel. Conforme apresentado na Figura 13. No cenário RCB 1 o objetivo é analisar o custo evitado de energia. Nesta aplicação não será utilizado o armazenamento de energia em baterias. Os resultados serão apresentados na sessão 5.9 – Análise do cenário 1.

4.4.2 RCB 2 – Relação Custo Benefício – Fontes Incentivadas + Baterias e Tarifas Dinâmicas

Para o cenário RCB 2 é utilizado o sistema fotovoltaico com o armazenamento em baterias, onde o objetivo é reduzir o custo com energia frente a um modelo de tarifa dinâmica ou seja, será armazenado energia nas baterias durante o maior horário de geração fotovoltaica e despachado essa energia no período em que a tarifa apresentar o seu maior custo.

4.4.3 RCB 3 - Relação Custo Benefício para utilização de baterias em horários de ponta - Custo Evitado de Demanda

Serão apresentados os cálculos para o sistema instalado nos Institutos Lactec. O carregamento das baterias será realizado durante o período da madrugada e a utilização desta energia será despachada no horário de ponta, sendo de segunda a sexta-feira das 18h às 21h e das 19h às 22h no horário de verão Copel (2017).

4.5 – DADOS DA CONTA DE ENERGIA

O histórico de conta de energia é um ponto de partida para análise da viabilidade econômica de um projeto de eficiência energética. Uma vez que serão analisados os custos anualizados pelo benefício anualizados. No caso dos Institutos Lactec verificou-se que as faturas se enquadram na modalidade horossazonal verde, do subgrupo A4 (tensão de fornecimento de 2,3 a 24kV). A Figura 15 fornece os valores unitários utilizados nas faturas da Copel para o cálculo de consumo de energia elétrica de ponta e fora de ponta (R\$/kWh), demanda e ultrapassagem da demanda (R\$/kW).

Horossazonal VERDE	Resolução ANEEL N° 2.096, de 21 de junho de 2016	
A4 (2,3 a 25 kV)		
Tarifas	Resolução	com Impostos:
	ANEEL	ICMS e PIS/COFINS
Demanda (R\$/kW)	10,56	16,17
Demanda Ultrapassagem (R\$/kW)	21,12	32,34
Consumo (R\$/kWh)		
Ponta	1,03712	1,58823
Fora de Ponta	0,27930	0,42771
Vigência em 24/06/2016		

Figura 15 - Tarifas vigentes para clientes do subgrupo A4 da modalidade verde.

FONTE: Copel (2016).

O valor de demanda contratada os Institutos Lactec é de 50 kW. Isso significa que a concessionária irá disponibilizar continuamente essa demanda de potência ativa definida no contrato de fornecimento, e o consumidor deverá pagá-la integralmente, caso a utilize totalmente ou não. Além disso, se o valor de demanda contratada for ultrapassado, será cobrado o valor excedente. Para este caso será aplicado os valores de R\$ 32,34 conforme campo Demanda Ultrapassagem (R\$/kW) apresentado na Figura 15.

4.6 – PIMVP

Segundo, KLINGUELFUS o processo de medição e verificação atualmente é um dos pontos mais cruciais para a execução de um projeto dentro do PEE, pois é através da medição e verificação que será realizada a confirmação da efetividade das ações executadas no projeto (KLINGUELFUS, 2013).

A *Efficiency Valuation Organization* (EVO) publicou o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) e documentos relacionados para aumentar o investimento em eficiência energética e no uso da água, gerenciamento da demanda, assim como nos projetos de energia renovável no mundo todo (EVO, 2012).

PIMVP é um documento de apoio que mostra os termos comuns e métodos para avaliar o desempenho de projetos de eficiência energética, descreve as práticas comuns de medição através de Plano de Medição e Verificação (Plano de M&V), e fornece métodos de cálculos para determinar as economias das instalações de eficiência energética.

A Medição e Verificação (M&V) é um processo que utiliza as medições para determinar a economia criada em instalações com programas de gestão de energia. Sendo que a economia é determinada pela comparação do consumo medido antes e depois da implementação de uma ação de eficiência energética (AEE). De uma forma geral, as atividades da M&V consistem em instalar os equipamentos de medição, coletar os dados, desenvolver um método de cálculo com estimativas aceitáveis, realizar os cálculos com dados medidos e gerar relatórios com o resultado da economia obtida.

Nesta seção foi detalhada a metodologia para projetos de eficiência energética com fontes incentivada. Apresentou-se a planilha eletrônica disponibilizada pela COPEL e foi detalhado o seu preenchimento. Na próxima seção será apresentada a análise de viabilidade técnica e econômica para projetos de eficiência energética com armazenamento de energia em baterias.

5 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

O objetivo deste capítulo é apresentar alguns conceitos que apoiem a decisão dos gestores públicos ou privados em suas tomadas de decisão em investir em um sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias. Serão apresentados todos os dados de entrada e posteriormente simulados com suporte da planilha eletrônica da Copel os três arranjos referentes aos sistemas propostos. Será utilizado o Fluxo de caixa como uma ferramenta adicional de decisão financeira deste estudo.

O fluxo de caixa é uma análise de investimento, usado como indicador de retorno, conhecido no meio empresarial como *Payback*, termo também conhecido entre os gestores de empresas.

Além do fluxo de caixa, uma importante informação de viabilidade em projetos é a vida útil de cada equipamento a ser empregado no projeto. Pois será levado em consideração o período em que a tecnologia necessita para entrada no mercado consumidor e o seu potencial crescimento. Para esta característica de projeto de energia renovável, neste caso, fotovoltaico, segundo as projeções da ANEEL, o mercado será crescente, vide Figura 5 – Projeção da geração de energia fotovoltaica distribuída.

5.1 ARRANJO SOLAR FOTOVOLTAICO

A planilha eletrônica disponibilizada pela concessionária de energia, neste caso, COPEL, auxiliará na simulação dos três cenários a serem estudados. De modo geral, os resultados apresentados pela planilha na aba – RCB – irá determinar com foco em Eficiência Energética a viabilidade técnica e econômica do projeto. Nossas aplicações serão conectadas a rede da concessionária local e os dados dos equipamentos a serem inseridos na planilha eletrônica na aba “Florç”, estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 - Equipamentos a serem considerados na simulação do PEE.

EQUIPAMENTOS A SEREM CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO DO PEE
CARGAS
SISTEMA FOTOVOLTAICO
INVERSOR
BANCO DE BATERIAS
REDE DE CONEXÃO

Fonte: Autoria própria, 2018.

Ao definir o sistema a ser simulado, a planilha eletrônica disponibilizada no site da Copel irá realizar os cálculos dos custos anualizados em reais (R\$) e os benefícios anualizados em reais (R\$) deste projeto através do RCB. Além disso, contabiliza o custo de manutenção dos inversores, irá apresentar a energia economizada, redução de demanda na ponta, custo da energia economizada, custo evitado de demanda e toneladas de CO₂ evitadas. Dentro da sim

5.2 DADOS DE ENTRADA DAS TARIFAS

As tarifas de consumo na ponta, consumo fora de ponta e demanda a serem utilizadas neste projeto estão apresentadas na Tabela 2.

As informações de valores das tarifas serão lançados na planilha eletrônica disponibilizada pela Copel na aba "FIBenef".

Tabela 2 – Dados de entrada da tarifa de energia.

DADOS DA CONTA DE ENERGIA		
TARIFAS	RESOLUÇÃO	COM IMPOSTOS:
	ANEEL	ICMS E PIS/COFINS
PONTA (R\$/kW)	1,03712	1,58823
FORA DE PONTA (R\$/kW)	0,2793	0,42771
DEMANDA (R\$/kW)	10,56	16,17
DEMANDA ULTRAPASSAGEM (R\$/kW)	21,12	32,34

Fonte: Autoria própria, 2018.

5.3 DADOS DE ENTRADA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Em relação aos dados de entrada do sistema fotovoltaico, considerou-se a geração de 30kWp, e vida útil de 25 anos, com eficiência de 90%. A inclinação dos painéis próxima à latitude de Curitiba 25° e orientado para o norte geográfico. Conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de entrada do Sistema Fotovoltaico.

DADOS DE ENTRADA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	
POTÊNCIA (kW)	30.000
CORRENTE DE SAIDA (A)	DC
VIDA ÚTIL (ANOS)	25
EFICIÊNCIA (%)	90
LATITUDE (GRAUS)	25
AZIMUTE	153
REFLETÂNCIA DO SOLO (%)	20

Fonte: Autoria própria, 2018.

5.5 DADOS DE ENTRADA DA FONTE SOLAR

A Tabela 4 contém os dados solar da latitude e longitude da cidade de Curitiba, e o perfil de irradiação solar da região, o perfil foi retirado do banco de dados do Atlas Solar do Paraná (www.atlassolarparana.com).

Tabela 4 - Dados de entrada da Fonte Solar

Cidade de Curitiba – Latitude 25,42° S e Longitude 49,26 ° O

MÊS	IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA (kWh /M²/DIA)
JANEIRO	4,7
FEVEREIRO	4,9
MARÇO	4,8
ABRIL	4,4
MAIO	3,8
JUNHO	3,6
JULHO	3,8
AGOSTO	4,7
SETEMBRO	4,2
OUTUBRO	4,3
NOVEMBRO	4,8
DEZEMBRO	4,9

Fonte: Atlas Solar Paraná ,2018.

5.6 DADOS DE ENTRADA DOS INVERSORES

Para os dados de entrada dos inversores, foi utilizada a sua capacidade de 32,4kW, vida útil de 15 anos e eficiência de 93% conforme manual do fabricante (OUTBACK POWER,2012). Na Tabela 5 encontram-se os dados de potência dos inversores, vida útil, eficiência e capacidade relativa para inversão.

Tabela 5 - Dados de entrada dos Inversores

DADOS DE ENTRADA DOS INVERSORES	
POTÊNCIA (kW)	32.400
VIDA ÚTIL (ANOS)	15
EFICIÊNCIA (%)	93
CAPACIDADE RELATIVA PARA INVERSÃO (%)	100

Fonte: Outback Power, 2012.

As informações de potência dos inversores foram inseridas na planilha eletrônica na aba “Flbenef” conforme Figura 20. A informação de vida útil foi inserida na planilha eletrônica na aba “Florç” conforme Figura 19.

5.7 DADOS DE ENTRADA DO BANCO DE BATERIAS

O banco de baterias são compostos por 20 unidades de 220 Ah cada organizadas em 5 *strings* que contem 4 baterias em série. Conforme foi apresentado na Figura 10.

As características técnicas das baterias em relação a tensão nominal, capacidade ,vida útil, eficiência de carga e descarga e outros dados estão apresentados na Tabela 6, de acordo com o manual do fabricante.

Tabela 6 - Dados de entrada do Banco de Baterias.

SISTEMA DE BATERIAS	
GERAL	
DESCRIÇÃO	220Ah SOC 100%
FABRICANTE	MOURA CLEAN
CAPACIDADE NOMINAL	220 AH
TENÃO NOMINAL	12 V
ROUND TRIP EFFICIENCY	80%
MIN ESTADO DE CARGA	75%
CURVA DE VIDA ÚTIL (CICLOS POR DESCARGA %)	
PROFUNDIDADE DE DESCARGA	CICLOS
DESCARGA 15 %	2500
DESCARGA 20%	1600
DESCARGA 30%	900
DESCARGA 40%	500
DESCARGA 50%	400
DESCARGA 60%	350
DESCARGA 100%	200

Fonte: MOURA (2014).

5.8 DADOS DAS CARGAS

Os dados de entradas para o perfil de carga foram registrados durante o período de 01/12/2017 até 19/12/2017, por disponibilidade do equipamento utilizado para realizar as medições foi o MARH21, como mostra a Figura 16.



Figura 16 - Medidor Marh 21.

Fonte: Blasi, 2017.

O MARH 21, é um analisador de energia, harmônicas e oscilografia de perturbações, suportando tensões CA de 70 a 600V, nas frequências de 50 ou 60 Hz e apresentando isolamento de 2kV.

A Tabela 7 apresenta as medições realizadas no dia 12/12/2017 onde será apresentado uma curva de forma gráfica, para exemplificar o perfil de carga a ser analisado.

Tabela 7 - Dados de entrada do perfil de carga.

<u>PERFIL DE CARGA</u>	
<u>HORA</u>	<u>CARGA – (kW)</u>
00:00:00	17,43
01:00:00	18,14
02:00:00	17,13
03:00:00	16,63
04:00:00	16,45
05:00:00	17,45
06:00:00	17,05
07:00:00	16,24
08:00:00	18,95
09:00:00	27,41
10:00:00	21,63
11:00:00	25,05
12:00:00	23,09
13:00:00	24,14
14:00:00	22,90
15:00:00	23,09
16:00:00	24,14
17:00:00	19,18
18:00:00	16,76
19:00:00	16,48
20:00:00	15,25
21:00:00	15,94
22:00:00	16,23
23:00:00	16,84

Fonte: Autoria própria, 2018.

Os dados traçados no gráfico representado pela Figura 17 corresponde ao perfil de carga no dia 12/12/2017.

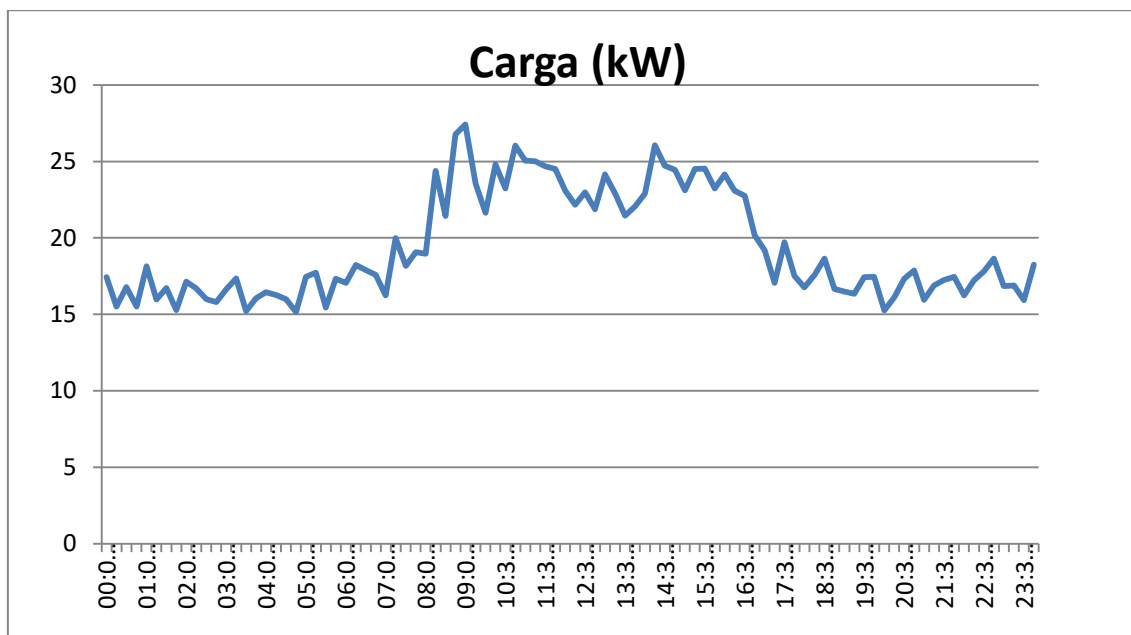


Figura 17 - Gráfico do perfil de carga durante o dia de análise 12/12/2017.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Verifica-se que neste caso, na Figura 17, que a carga é atendida pela usina fotovoltaica dos Institutos Lactec. Que possui uma potência instalada de 32kW, conforme apresentado na Tabela 5.

5.9 ANÁLISE DO CENÁRIO 1 – SISTEMA FOTOVOLTAICO SEM BATERIAS

Inicia-se a análise de viabilidade técnico e econômica pelo sistema fotovoltaico sem baterias conforme representado na Figura 18.

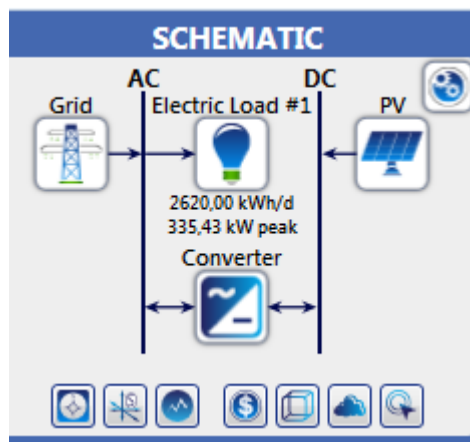


Figura 18 - Diagrama do Cenário 1.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Para o cenário 1 todos os custos foram simulados como responsabilidade do Programa de Eficiência Energética. A aba a ser preenchida é a “Flcusto”, conforme apresentado na planilha eletrônica da Copel, de acordo com a Figura 19.

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				
Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE
1 Módulos Fotovoltaicos	25,00	132	R\$ 599,00	R\$ 79.068,00
2 Controlador de Carga	20,00	0	R\$ 3.800,00	R\$ -
3 Baterias	10,00	0	R\$ 1.129,00	R\$ -
4 Inversor	25,00	9	R\$ 6.600,00	R\$ 59.400,00
5 Kit de Montagem (Ferragem, Cabos e Miscelaneos)	25,00	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Materiais e equipamentos				R\$ 148.468,00
Mão de obra própria				R\$ 14.038,04
Mão de obra de terceiros	Quantidade	Horas	Valor da hora	PEE
1 Instalação	1	110,00	R\$ 80,00	R\$ 8.800,00
2 Comissionamento	1	24,00	R\$ 80,00	R\$ 1.920,00
3 Acompanhamento	1	48,00	R\$ 80,00	R\$ 3.840,00
Diagnóstico energético				R\$ 9.140,00
Mão de obra de terceiros				R\$ 23.700,00
Transporte				R\$ 1.000,00
Sub total - Custos diretos				R\$ 187.206,04
CUSTOS INDIRETOS				
CUSTOS INDIRETOS				
Treinamento e capacitação				R\$ 2.372,00
Descarte de materiais	Quantidade	Valor unitário	PEE	
1 Descarte de obra	1	R\$ 800,00	R\$ 800,00	
Descarte de materiais				R\$ 800,00
Medição e verificação				R\$ 12.000,00
Outros custos indiretos	Quantidade	Valor unitário	PEE	
1 Manutenção	1	R\$ 800,00	R\$ 800,00	
2 Treinamento	2	R\$ 800,00	R\$ 1.600,00	
Outros custos indiretos				R\$ 2.400,00
Sub total - Custos indiretos				R\$ 17.572,00
Custos fontes incentivadas - Ex ante				R\$ 204.778,04

Figura 19 - Cálculo dos custos do projeto – Cenário 1.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Os custos de todos os equipamentos e serviços inseridos na planilha eletrônica da Copel, na aba “Flcusto”, bem como a indicação da vida útil de cada equipamento influenciará diretamente no cálculo do custo anualizado de cada equipamento.

Para o cálculo dos benefícios deve ser preenchido a planilha eletrônica da Copel na aba “Flbenef”, conforme Figura 20.

FONTES INCENTIVADAS - SISTEMA PROPOSTO - EX ANTE				TOTAL	fi 1
1	Tipo de equipamento / tecnologia				Sistema FV
2	Potência nominal da central geradora	Wp	pp_i		230,00
3	Quantidade de centrais geradoras		qp_i	132	132
4	Potência instalada de geração	kWp	Pp_i	30,36	30,36
5	Potência nominal do inversor		W	pi_i	3.600,00
6	Quantidade de inversores		qi_i	9	9
7	Potência instalada de inversores	kW	Pi_i	32,40	32,40

FONTES INCENTIVADAS - RESULTADOS ESPERADOS				TOTAL	fi 1
11	Demanda atendida pela fonte incentivada na ponta		kW	DA_{pi}	0,00
	Tarifa de demanda na ponta (R\$/kW)	16,17	R\$	0,00	0,00
12	Demanda atendida pela fonte incentivada fora da ponta		kW	DA_{ppi}	29,16
13	Energia gerada pela fonte incentivada na ponta		MWh/ano	EG_{pi}	0,00
	Tarifa de energia na ponta (R\$/MWh)	1.590,00	R\$	0,00	0,00
14	Energia gerada pela fonte incentivada fora da ponta		MWh/ano	EG_{ppi}	51,09
	Tarifa de energia fora de ponta (R\$/MWh)	430,00	R\$	21.967,98	21.967,98
15	Energia gerada		MWh/ano	EG_i	51,09
Benefício anualizado fontes incentivadas - Ex ante			R\$	B_{Fi}	21.967,98

Figura 20 - Simulação dos benefícios do Cenário 1.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Neste cálculo que foi realizado pela planilha eletrônica, obteve o benefício financeiro na ordem de R\$ 21.967,98 por ano.

Uma vez realizado o cálculo dos custos conforme Figura 19 e os benefícios conforme Figura 20, automaticamente a relação custo benefício será apresentado na Figura 21. Onde neste caso o valor obtido é $RCB = 0,87$. Valor aprovado pelo Programa de Eficiência Energética (PEE) (ANEEL, 2013).

CÁLCULO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO						
Cálculo por uso final	EE Energia economizada MWh/ano	RDP Redução de demanda na ponta kW	CA_{TPEE} Custo anualizado PEE	BA_T Benefício anualizado total	RCB_{PEE} Por uso final PEE	RCB_{PEE} Custos relativos ao PEE
Iluminação	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	0,87
Condicionamento ambiental	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas motrizes	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas de refrigeração	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Aquecimento solar de água	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Equipamentos hospitalares	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Outros usos finais	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Fontes incentivadas	51,09	0,00	R\$ 19.183,36	R\$ 21.967,98	0,87	
Total	51,09	0,00	R\$ 19.183,36	R\$ 21.967,98	0,87	

Figura 21 - RCB 1 – Fotovoltaico sem baterias.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Outros indicadores calculados pela planilha eletrônica são energia economizada (EE), custo anualizado (CAT), Benefício anualizado (BAT).

Conforme explicado na seção 2.5 deste trabalho, essa aplicação, sistema fotovoltaico SEM BATERIAS é 13% inferior ao custo que teria para gerar o mesmo 1MWh através da expansão do sistema elétrico.

Outro indicador positivo apresentado pela planilha é a quantidade de CO₂ a ser evitado com a aplicação de sistema fotovoltaico, conforme Figura 22.

RESUMO DA AVALIAÇÃO EX ANTE POR USO FINAL							
Iluminação	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$ -
Condicionamento ambiental	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$ -
Sistemas motrizes	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$ -
Sistemas de refrigeração	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$ -
Aquecimento solar de água	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$ -
Equipamentos hospitalares	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$ -
Outros usos finais	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$ -
<input checked="" type="checkbox"/> Fontes incentivadas	51,09	MWh/ano	0,00	kW	7,00	tCO ₂ eq	R\$ 204.778,04

Figura 22 - Resumo da avaliação por uso final.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Na Figura 22, apresenta-se o valor da energia gerada pela fonte incentivada 51,09 MWh/Ano, o valor a ser evitado em toneladas de CO₂ (7 t CO₂eq) e o custo de R\$ 204.778,04 para o investimento para este tipo de projeto.

O Calculo do fluxo de caixa apresenta o período de investimento e o período de retorno do benéfico, de forma gráfica podemos observar na FIGURA 23.

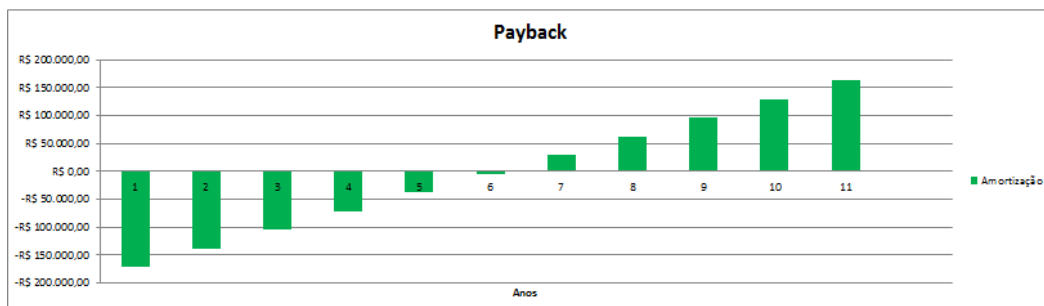


Figura 23 - Fluxo de caixa da aplicação – RCB 1 - Sistema Fotovoltaico SEM baterias.

Fonte: Autoria própria, 2018.

O Cálculo do fluxo de caixa apresenta um período de retorno do investimento a partir de 6 anos de operação.

5.10 ANÁLISE DO CENÁRIO 2

Para o cenário RCB 2 é utilizado o sistema fotovoltaico com o armazenamento em baterias onde o objetivo é reduzir o custo com energia frente a um modelo de tarifa dinâmica e também durante o horário de ponta, conforme o diagrama apresentado na Figura 24.

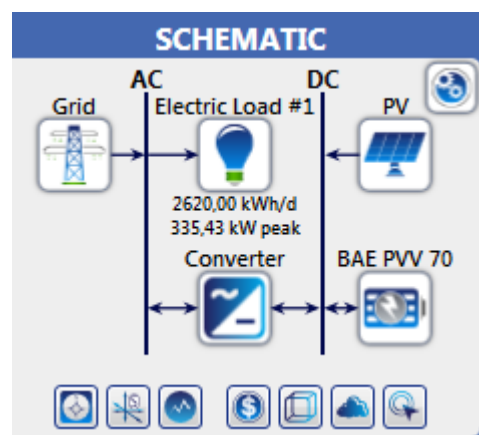


Figura 24 - Diagrama do Cenário 2.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Para o cenário 2 todos os custos foram simulados como responsabilidade do Programa de Eficiência Energética. A aba a ser preenchida é a “Flcusto”, conforme apresentado na Figura 25. A diferença entre os custos do cenário 1 e o cenário 2 são os custos do sistemas de baterias e os controladores de carga.

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				
Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE
1 Módulos Fotovoltaicos	25,00	132	R\$ 599,00	R\$ 79.068,00
2 Controlador de Carga	20,00	9	R\$ 3.800,00	R\$ 34.200,00
3 Baterias	10,00	20	R\$ 1.129,00	R\$ 22.580,00
4 Inversor	25,00	9	R\$ 6.600,00	R\$ 59.400,00
5 Kit de Montagem (Ferragem, Cabos e Miscelaneos)	25,00	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Materiais e equipamentos				R\$ 205.248,00
Mão de obra própria				R\$ 15.741,44
Mão de obra de terceiros	Quantidade	Horas	Valor da hora	PEE
1 Instalação	1	110,00	R\$ 80,00	R\$ 8.800,00
2 Comissionamento	1	24,00	R\$ 80,00	R\$ 1.920,00
3 Acompanhamento	1	48,00	R\$ 80,00	R\$ 3.840,00
Mão de obra de terceiros				R\$ 14.560,00
Transporte				R\$ 1.000,00
Sub total - Custos diretos				R\$ 236.549,44
CUSTOS INDIRETOS				
CUSTOS INDIRETOS				
Descarte de materiais	Quantidade	Valor unitário	PEE	
1 Descarte de obra	1	R\$ 800,00	R\$ 800,00	
Medição e verificação				R\$ 12.000,00
Outros custos indiretos	Quantidade	Valor unitário	PEE	
1 Manutenção	1	R\$ 800,00	R\$ 800,00	
2 Treinamento	2	R\$ 800,00	R\$ 1.600,00	
Outros custos indiretos				R\$ 2.400,00
Sub total - Custos indiretos				R\$ 15.200,00
Custos fontes incentivadas - Ex ante				R\$ 251.749,44

Figura 25 - Cálculo dos custos do projeto – Cenário 2.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Os custos de todos os equipamentos e serviços apresentados na planilha eletrônica, na aba “Ficusto”, bem como a indicação da vida útil de cada equipamento influenciará diretamente no cálculo do custo anualizado de cada equipamento.

Neste cenário será considerado a aplicação do armazenamento de energia em baterias, este arranjo de baterias composto por 20 unidades de baterias de chumbo ácido com tensão nominal de 12 V e capacidade nominal no regime de 20 horas (C20) de 220 Ah e os controladores de carga equipamentos já detalhados nas seções 3.2 e 3.3 desta pesquisa.

De acordo FREHNER (2017), as simulações deste arranjo, seria possível fornecer 10,8 kWh/dia ao final de 3 horas, período de ponta considerado pela concessionária local entre 18h às 21h.

Desta forma, foi considerada esta demanda – 3,6 kW - como a demanda atendida pela fonte incentivada na ponta. Conforme apresentado na Figura 26.

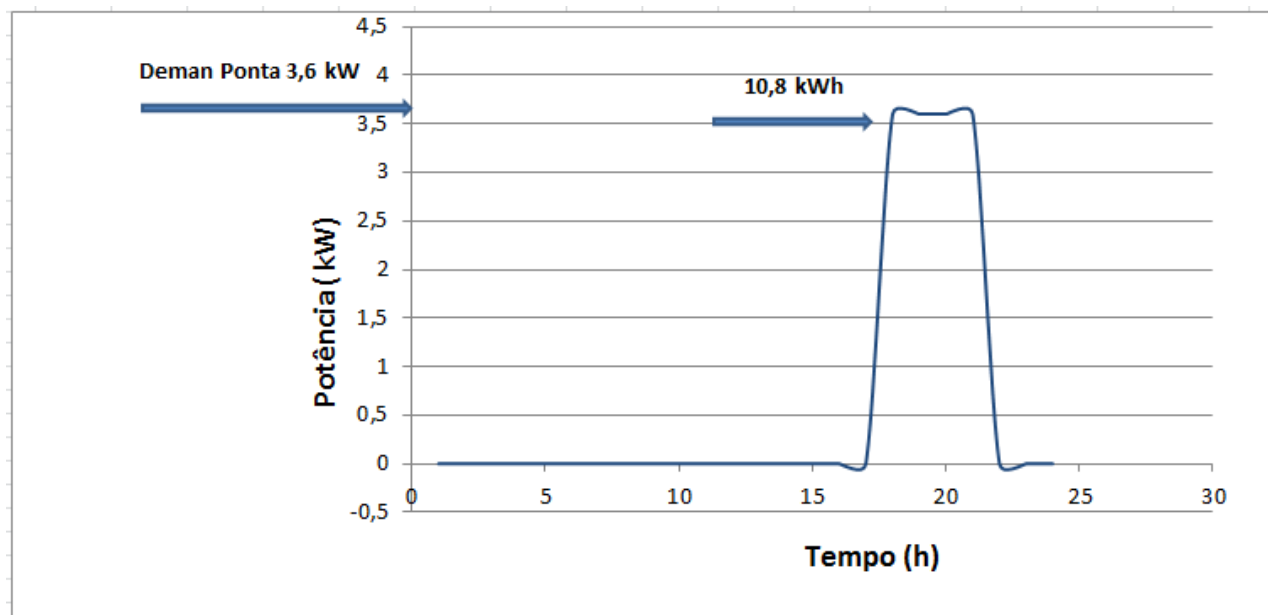


Figura 26 - Descarga da energia armazenada.

Fonte: Autoria própria, 2018.

No gráfico apresentado na Figura 26, foi considerada uma operação de 25% de profundidade de descarga, indicado pelo fabricante o melhor percentual de operação, operando 365 dias do ano.

Para o cálculo dos benefícios deverá ser preenchido os dados técnicos conforme apresentados na Figura 27.

FONTES INCENTIVADAS - SISTEMA PROPOSTO - EX ANTE				TOTAL	fi 1
1	Tipo de equipamento / tecnologia				Sistema FV
2	Potência nominal da central geradora	Wp	pp_i		230,00
3	Quantidade de centrais geradoras		qp_i	132	132
4	Potência instalada de geração	kWp	Pp_i	30,36	30,36
5	Potência nominal do inversor	W	pi_i		3.600,00
6	Quantidade de inversores		qi_i	9	9
7	Potência instalada de inversores	kW	Pi_i	32,40	32,40

FONTES INCENTIVADAS - RESULTADOS ESPERADOS				TOTAL	fi 1	
11	Demanda atendida pela fonte incentivada na ponta		kW	DA_{pi}	3,60	3,60
	Tarifa de demanda na ponta (R\$/kW)	16,17	R\$		58,21	58,21
12	Demanda atendida pela fonte incentivada fora da ponta		kW	DA_{Fpi}	29,16	29,16
13	Energia gerada pela fonte incentivada na ponta		MWh/ano	EG_{pi}	3,94	3,94
	Tarifa de energia na ponta (R\$/MWh)	1.590,00	R\$		6.264,60	6.264,60
14	Energia gerada pela fonte incentivada fora da ponta		MWh/ano	EG_{Fpi}	46,76	46,76
	Tarifa de energia fora de ponta (R\$/MWh)	430,00	R\$		20.105,08	20.105,08
15	Energia gerada		MWh/ano	EG_i	50,70	50,70
Benefício anualizado fontes incentivadas - Ex ante			R\$	B_{Fi}	26.427,89	26.427,89

Figura 27 - Simulação dos benefícios – Cenário 2.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Uma vez realizado o cálculo dos custos conforme Figura 25 e os benefícios conforme apresentado na Figura 27, a relação custo benefício desta aplicação, sistema fotovoltaico COM BATERIAS, foi calculada e apresentada na Figura 28.

CÁLCULO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO - EX ANTE						
Cálculo por uso final	EE Energia economizada MWh/ano	RDP Redução de demanda na ponta kW	$CA_{T,PEE}$ Custo anualizado PEE	BA_T Benefício anualizado total	RCB_{PEE} Por uso final PEE	RCB_{PEE} Custos relativos ao PEE
Iluminação	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	0,96
Condicionamento ambiental	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas motrizes	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas de refrigeração	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Aquecimento solar de água	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Equipamentos hospitalares	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Outros usos finais	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Fontes incentivadas	50,70	3,60	R\$ 25.459,42	R\$ 26.427,89	0,96	
Total	50,70	3,60	R\$ 25.459,42	R\$ 26.427,89	0,96	

Figura 28 – RCB 2 – Fotovoltaico COM baterias.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Na ótica do PEE, utilizando a planilha eletrônica, o investimento em um sistema fotovoltaico COM BATERIAS é 4% inferior ao custo que teria para gerar o mesmo 1MWh através da expansão do sistema elétrico.

Outro indicador positivo apresentado pela planilha é a quantidade de CO₂ - 6,95 tCO₂ - a ser reduzido com a aplicação de sistema fotovoltaico, apresentado na Figura 29. Ou seja, observa-se que a geração solar fotovoltaica contribui com a redução dos gases de efeito estufa, uma das principais causas relacionadas a mudanças climáticas.

RESUMO DA AVALIAÇÃO EX ANTE POR USO FINAL									
<input type="checkbox"/>	Iluminação	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$	-
<input type="checkbox"/>	Condicionamento ambiental	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$	-
<input type="checkbox"/>	Sistemas motrizes	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$	-
<input type="checkbox"/>	Sistemas de refrigeração	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$	-
<input type="checkbox"/>	Aquecimento solar de água	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$	-
<input type="checkbox"/>	Equipamentos hospitalares	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$	-
<input type="checkbox"/>	Outros usos finais	0,00	MWh/ano	0,00	kW	0,00	tCO ₂ eq	R\$	-
<input checked="" type="checkbox"/>	Fontes incentivadas	50,70	MWh/ano	3,60	kW	6,95	tCO ₂ eq	R\$	251.749,44

Figura 29 - Resumo da avaliação por uso final.

Fonte: Autoria própria, 2018.

O Cálculo do fluxo de caixa apresenta o período de investimento e o período de retorno do benefício, como será apresentada de forma gráfica na Figura 30.

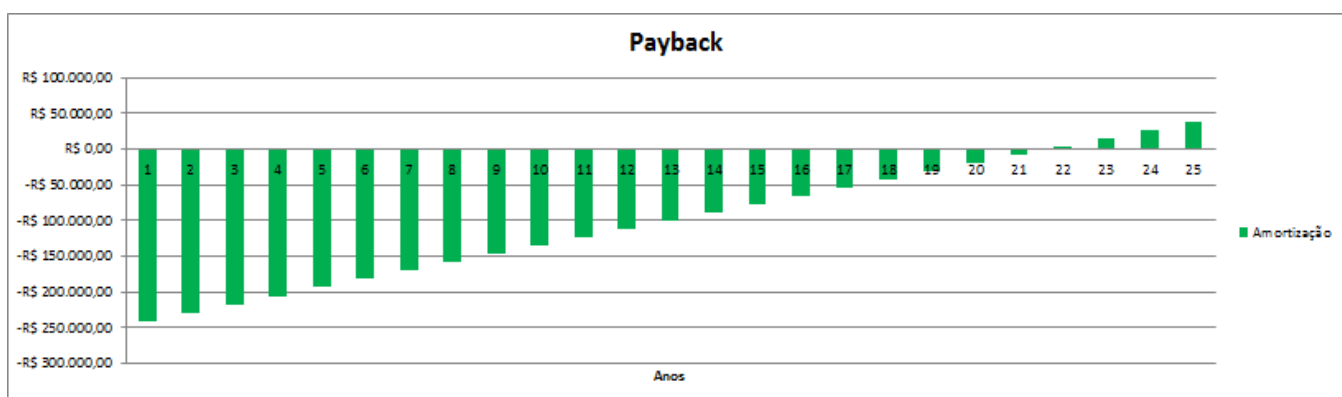


Figura 30 - Fluxo de caixa da aplicação – RCB 2 – Sistema Fotovoltaico COM baterias.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Neste cenário – 2 – observa-se que o retorno do investimento está próximo no final da vida útil do sistema que está condicionado a 25 anos de aplicação.

5.11 ANÁLISE DO CENÁRIO 3

Por fim no cenário RCB 3 será utilizado somente o sistema de armazenamento de energia, que por sua vez, será carregado com a energia da rede em um horário de grande oferta de energia para ser disponibilizado para o consumo no horário de ponta, conforme Figura 31.

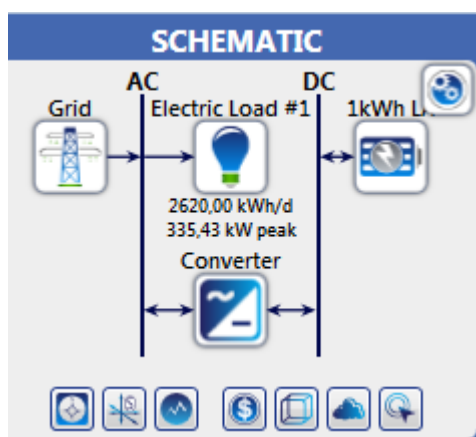


Figura 31 - Diagrama do Cenário 3.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A Figura 32 ilustra o funcionamento de carga e descarga de energia.

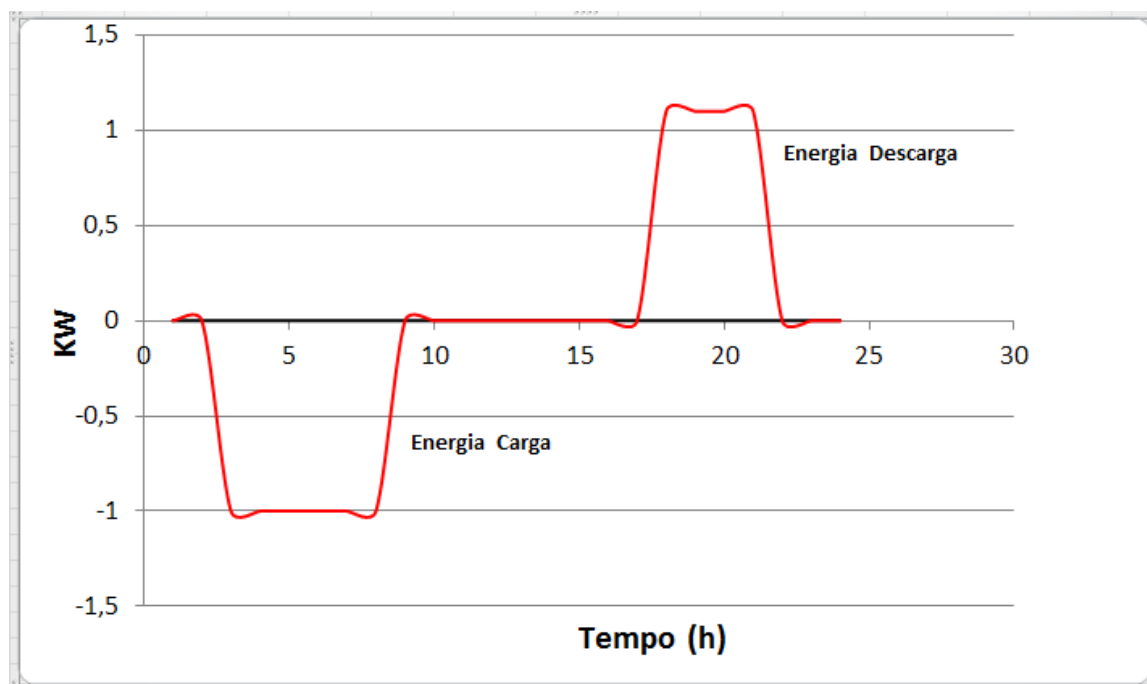


Figura 32 - Representação de carga e descarga da Bateria.

Fonte: Autoria própria, 2018.

De acordo com (BLASI, 2017), a eficiência do processo no período de carga consome-se 110% da potência horária e na descarga tem-se 100%, sendo 10% perdas decorrentes do processo. Com relação ao período de carregamento das baterias se adotou o máximo possível, de forma a suavizar o processo de descarga, conforme apresentado na Figura 32.

Para o cenário 3 todos os custos foram simulados como responsabilidade do Programa de Eficiência Energética. A aba a ser preenchida é a “Flcusto”, conforme apresentado na Figura 33.

CUSTOS DIRETOS				
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS				
Materiais e equipamentos	Vida útil	Quantidade	Valor unitário	PEE
2 Controlador de Carga/ Inversor	20,00	9	R\$ 4.600,00	R\$ 41.400,00
3 Baterias	10,00	20	R\$ 1.129,00	R\$ 22.580,00
5 Kit de Montagem (Ferragem, Cabos e Miscelaneos)	25,00	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Materiais e equipamentos				R\$ 73.980,00
Mão de obra própria				R\$ 11.803,40
Mão de obra de terceiros	Quantidade	Horas	Valor da hora	PEE
1 Instalação	1	110,00	R\$ 80,00	R\$ 8.800,00
2 Comissionamento	1	24,00	R\$ 80,00	R\$ 1.920,00
3 Acompanhamento	1	48,00	R\$ 80,00	R\$ 3.840,00
Mão de obra de terceiros				R\$ 14.560,00
Transporte				R\$ 1.000,00
Sub total - Custos diretos				R\$ 101.343,40
CUSTOS INDIRETOS				
CUSTOS INDIRETOS				
Descarte de materiais	Quantidade	Valor unitário	PEE	
1 Descarte de obra	1	R\$ 800,00	R\$	800,00
Descarte de materiais				R\$ 800,00
Medição e verificação				R\$ -
Outros custos indiretos	Quantidade	Valor unitário	PEE	
1 Manutenção	1	R\$ 800,00	R\$	800,00
2 Treinamento	1	R\$ 800,00	R\$	800,00
Outros custos indiretos				R\$ 1.600,00
Sub total - Custos indiretos				R\$ 2.400,00
Custos fontes incentivadas - Ex ante				R\$ 103.743,40

Figura 33 - Cálculo dos custos do projeto – Cenário 3.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Os custos de todos os equipamentos e serviços apresentados na planilha eletrônica, na aba “Flcusto”, bem como a indicação da vida útil de cada equipamento influenciará diretamente no cálculo do custo anualizado de cada equipamento.

Para o cálculo dos benefícios deve ser preenchido a planilha a aba “Flbenef”, conforme Figura 34.

FONTES INCENTIVADAS - SISTEMA PROPOSTO - EX ANTE				TOTAL	fi 1
1	Tipo de equipamento / tecnologia				Armazenamento
2	Potência nominal da central geradora	Wp	pp_i		0,00
3	Quantidade de centrais geradoras		qp_i	0	0
4	Potência instalada de geração	kWp	Pp_i	0,00	0,00
5	Potência nominal do inversor	W	pi_i		3.600,00
6	Quantidade de inversores		qi_i	9	9
7	Potência instalada de inversores	kW	Pi_i	32,40	32,40

FONTES INCENTIVADAS - RESULTADOS ESPERADOS				TOTAL	fi 1
11	Demanda atendida pela fonte incentivada na ponta	kW	DA_{pi}	3,60	3,60
	Tarifa de demanda na ponta (R\$/kW)	R\$		58,21	58,21
12	Demanda atendida pela fonte incentivada fora da ponta	kW	DA_{Fpi}	0,00	0,00
13	Energia gerada pela fonte incentivada na ponta	MWh/ano	EG_{pi}	3,94	3,94
	Tarifa de energia na ponta (R\$/MWh)	R\$		6.267,78	6.267,78
14	Energia gerada pela fonte incentivada fora da ponta	MWh/ano	EG_{Fpi}	-4,34	-4,34
	Tarifa de energia fora de ponta (R\$/MWh)	R\$		-1.864,57	-1.864,57
15	Energia gerada	MWh/ano	EG_i	-0,39	-0,39
Benefício anualizado fontes incentivadas - Ex ante				R\$ B_{fi}	4.461,43

Figura 34 - Simulação dos benefícios - Cenário 3.

Fonte: Autoria própria, 2018.

O cálculo realizado pela planilha eletrônica foi desenvolvido pela Agência Nacional de Energia Elétrica.

Uma vez realizado o cálculo dos custos conforme Figura 33 e os benefícios conforme Figura 34, automaticamente a relação custo benefício desta aplicação, somente as COM BATERIAS.

CÁLCULO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO - EX ANTE						
Cálculo por uso final	EE Energia economizada MWh/ano	RDP Redução de demanda na ponta kW	$CA_{T,PEE}$ Custo anualizado PEE	BA_T Benefício anualizado total	RCB_{PEE} Por uso final PEE	RCB_{PEE} Custos relativos ao PEE
Iluminação	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	2,68
Condicionamento ambiental	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas motrizes	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Sistemas de refrigeração	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Aquecimento solar de água	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Equipamentos hospitalares	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Outros usos finais	0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	0,00	
Fontes incentivadas	-0,39	3,60	R\$ 11.945,71	R\$ 4.461,43	2,68	
Total	-0,39	3,60	R\$ 11.945,71	R\$ 4.461,43	2,68	

Figura 35 - RCB 3 – SEM fotovoltaico COM baterias.

Fonte: Autoria própria, 2018.

Com a aplicação de baterias com carregamento fora do horário de ponto onde a oferta de energia é maior, observa-se que a relação custo benefício não atende aos critérios mínimos de aceitação. Neste caso é mais viável o investimento em projetos convencionais de expansão do sistema elétrico.

5.12 CONTRIBUIÇÕES DA TECNOLOGIA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS PARA A MATRIZ ENERGÉTICA PARANAENSE.

Em termos de Brasil, o estado do Paraná apresenta um potencial fotovoltaico elevado, comparável aos melhores potenciais encontrados na Europa, com valores de Irradiação e Produtividade Total Anual Média de 1.986 kWh/m².ano e 1.490 kWh/kWp.ano (TIEPOLO et al., 2016).

Curitiba, capital do Paraná é conhecida por ter a menor temperatura média entre as capitais brasileiras. Possui uma Irradiação e Produtividade Total Anual Média apenas 8,6% inferior à média de todo o território brasileiro, e 1,2% inferior à média de todo o estado de Santa Catarina (TIEPOLO et al., 2016).

O consumo total de energia elétrica em 2014 no Paraná foi de aproximadamente 29,5 TWh (IPARDES, 2014), contra 531 TWh em todo o Brasil (MME, 2015), o que representa algo em torno de 5,55% do consumo total.

Desta forma, a pesquisa em questão aplicou um modelo de operação, unindo um sistema fotovoltaico, amplamente estudado no Brasil com um novo equipamento que é o armazenamento de energia em baterias.

A aplicação estudada no Cenário 2, geração fotovoltaica com armazenamento de energia, contribui para a matriz energética Paranaense com a economia de 50,70 MWh de energia por ano, conforme apresentado na Figura 29.

As aplicações apresentadas nesta pesquisa estão em linha com os estudos realizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (DOE). As principais aplicações estudadas pelo DOE está focada em redução da tarifa, no usuário final de energia elétrica e nas aplicações que trabalham para reduzir as incertezas de geração renováveis, evento conhecido como intermitência (DOE,2016).

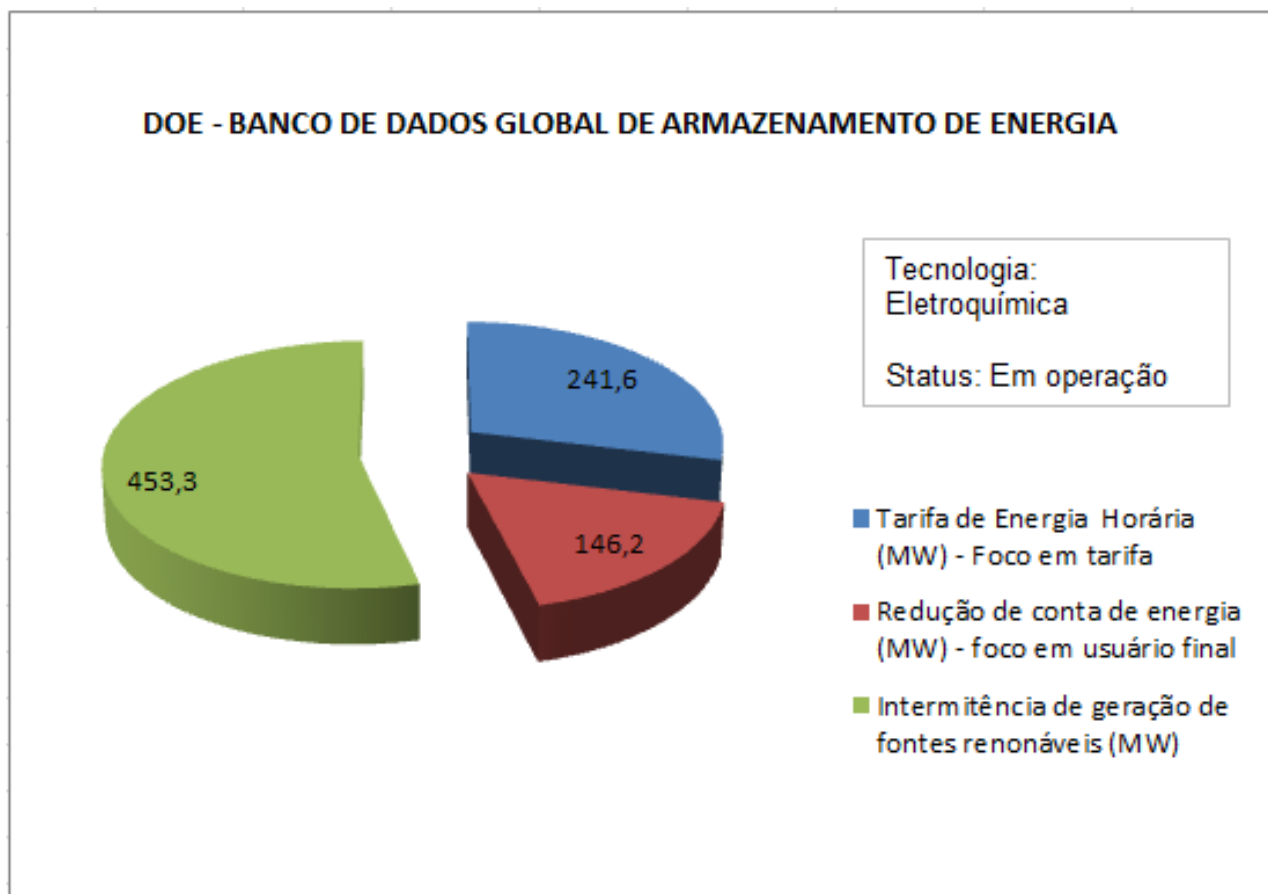


Figura 36 - Dados globais de projetos de armazenamento de energia em operação.

Fonte: Adaptado DOE, 2016.

Na Figura 36, destacam-se as 3 principais aplicações da utilização do armazenamento de energia em baterias desenvolvidas pelo DOE. Onde a principal tecnologia de armazenamento utilizado é a Eletroquímica.

Na Figura 37, apresenta-se a relação dos 10 principais aplicações de armazenamento de energia por número de projetos utilizando armazenamento ao redor do mundo.

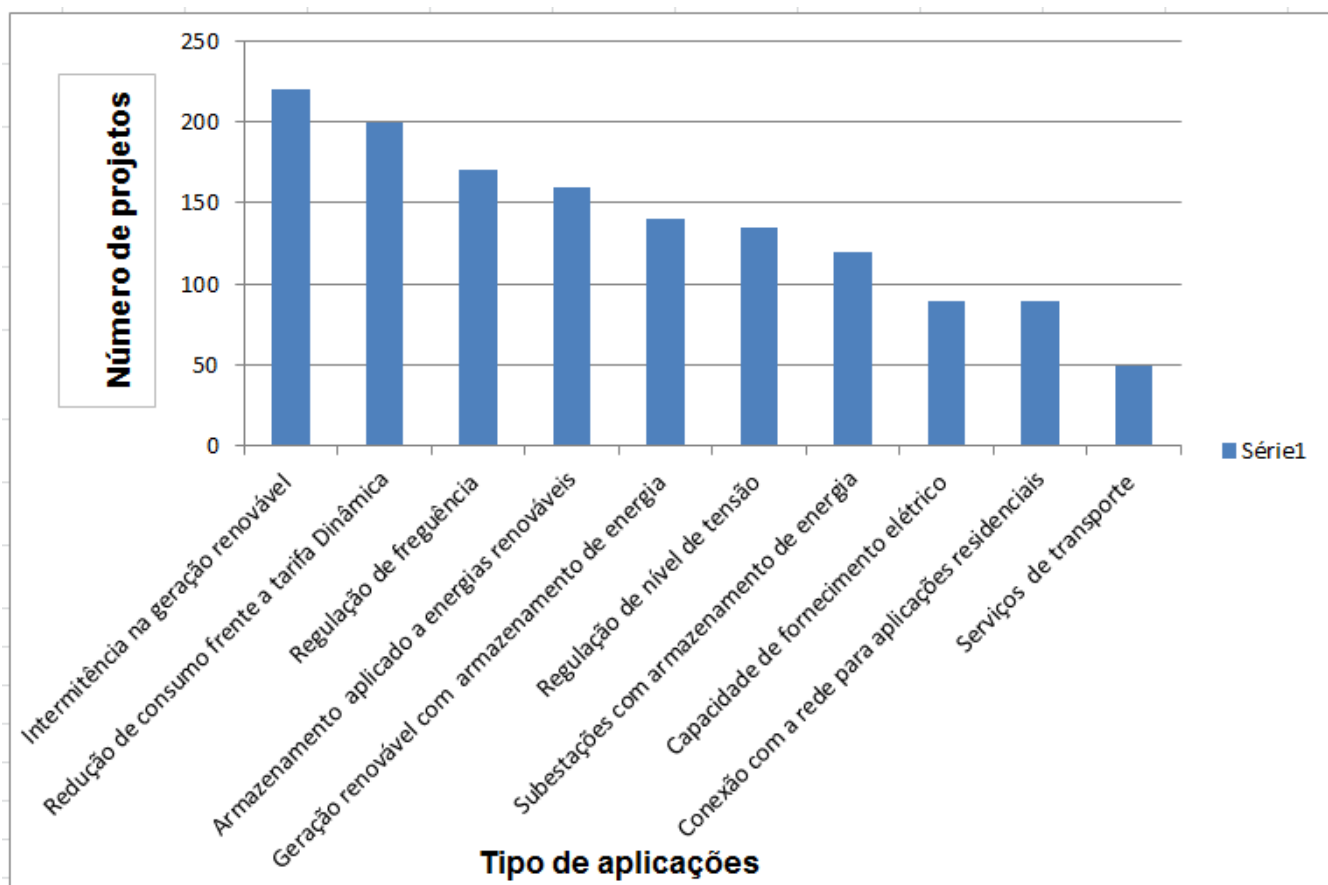


Figura 37 - Tipo de aplicações de armazenamento de energia.

Fonte: Adaptado DOE, 2016.

Observa-se que diversas aplicações de armazenamento de energia em baterias estão em operação no sistema elétrico. Reforçando a necessidade de pesquisa neste tema.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O objetivo deste trabalho foi contribuir com a pesquisa no seguimento de armazenamento de energia aplicado a geração de energias renováveis. Pois como uma fonte de geração de eletricidade e também um responsável para redução dos impactos ambientais como, por exemplo, redução do gás de efeito estufa.

Desta forma, iniciou-se a pesquisa realizando um levantamento sobre os fundamentos dos conceitos de Eficiência Energética, onde se buscou entender as obrigatoriedades referente ao Programa de Eficiência Energética (PEE), seguindo a metodologia apresentada no Procedimento do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) para análise de viabilidade de projetos com fontes incentivadas, inserindo o armazenamento de energia em baterias.

Para iniciar as análises foi necessário modelar três aplicações com armazenamento de energia, apresentar os custos para cada aplicação, apresentar os benefícios e analisar os benefícios através da Relação Custo Benefício.

Os dados técnicos utilizados para modelar as três aplicações, são da UFV dos Institutos Lactec.

Assim, foi possível simular três aplicações utilizando dados de uma planta real.

Cenário 1 - Sistema Fotovoltaico SEM baterias – A Relação Custo Benefício (RCB) foi positivo atingindo o valor de 0,87. De acordo com as regras para a relação custo-benefício (RCB) para fontes incentivadas está entre 0,8 e 1,0.

Significa que o custo para se “economizar” 1 MWh através do Programa de Eficiência Energética, nesta aplicação é 13% menor ao custo que se teria para se gerar o mesmo 1 MWh através da expansão do sistema.

Cenário 2 - Sistema Fotovoltaico COM baterias – A relação custo-benefício (RCB) foi positivo atingindo 0,96. De acordo com as regras para a relação custo-benefício (RCB) esse projeto seria aprovado, pois está entre 0,8 e 1,0.

Significa que o custo para se “economizar” 1 MWh através do Programa de Eficiência Energética, nesta aplicação é 4% inferior ao custo que se teria para se gerar o mesmo 1 MWh através da expansão do sistema. O ineditismo nesta aplicação foi avaliar os benefícios da utilização da geração de energia associando o arranjo de armazenamento, que por sua vez, contribuiu para a redução de energia no horário de ponta, momento este que não obtivemos geração fotovoltaica. É necessário informar que após o descarregamento da energia armazenada a instalação volta a utilizar a energia da rede elétrica.

Além das contribuições elétricas, destaca-se que a geração solar fotovoltaica contribui com a redução dos gases de efeito estufa, uma das principais causas do aquecimento global.

Cenário 3 - Sem o sistema fotovoltaico e COM baterias sendo carregadas em um momento de maior oferta de energia e descarregadas no horário de ponta – A relação custo-benefício (RCB) foi de 2,68. Para esta aplicação, de acordo com as regras para aprovação de acordo com a relação custo-benefício (RCB) este projeto não seria aprovado, pois está acima do limite recomendado que está entre 0,8 e 1,0.

Através do desenvolvimento deste trabalho, constatou-se que a aplicação do cenário 2 – sistema fotovoltaico com armazenamento de energia em baterias atende os critérios do PEE, contribuindo com o desenvolvimento dessas tecnologias, aumentando a confiança em sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia em baterias, assim, colaborando com a redução no horário de ponta e a redução do consumo de energia elétrica da concessionária.

Após atender os requisitos propostos para esta pesquisa, como sugestões para trabalhos futuros, poderiam incluir, o desenvolvimento de um algoritmo que englobe a análise de viabilidade via RCB, apresentada neste trabalho, com o gerenciamento de carga e intermitência de geração, criando assim um gerenciador de energia voltado a aplicações de sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia em baterias.

REFERÊNCIAS

ATLAS SOLAR PARANA Disponível em:<<http://www.atlassolarparana.com>>. Acessado em:14 de Julho de 2018.

ANEEL. **Energia Solar. Atlas da Energia Elétrica do Brasil**, p. 14, 2005. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>.

ANEEL. **Resolução no 482 de 2012 da ANEEL**. Aneel, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2012.

ANEEL. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE**. , 2013.

ANEEL. Chamada No 021/2016 - **Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos E Comerciais Para a Inserção De Sistemas De Armazenamento De Energia No Setor Elétrico Brasileiro.”** , 2016.

ANEEL, A. N. DE E. E. **Resolução Normativa No 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015.** , 2015.

BETINI, R. C. **Strategies to Reduce the Use of Fossil Fuels Key words**. , v. 1, n. 10, 2012.

BLAKERS, A.; WEBER, K. **The Energy Intensity of Photovoltaic Systems**. , p. 1–10, 2017.

BLASI, T. M. **ANÁLISE ELÉTRICA DOS IMPACTOS DA CONEXÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM BATERIAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO**, 2017. Universidade Federal Do Paraná.

COPEL. **Companhia Paranaense de Energia**. Disponível em:<<http://www.copel.com>>. Acessado em:23 de Março de 2018.

CHU, S.; MAJUMDAR, A. **Opportunities and challenges for a sustainable energy future**. nature, 2012. nature.com. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v488/n7411/abs/nature11475.html>>. .

DOE. **Electric Power Industry Needs for Grid-Scale Storage Applications**. 2016. Disponível em: <<https://www.energystorageexchange.org>> Acessado em: 15 de Fevereiro de 2018.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Eficiência Energética e Geração Distribuída**. , 2016a.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. PNE 2050 - **Estudo sobre a Demanda**. , p. 257, 2016b. Disponível em: <<http://informesanuais.xm.com.co/2013/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx>>. .

EVO. **Protocolo internacional de medição e verificação**. , v. 1, 2012.

FERRONATO, F. D. A. S. **SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA CONECTADO EM BAIXA TENSÃO**, 2014. Universidade Federal Do Paraná.

FREHNER, P. **AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS TÉCNICO-ECONÔMICOS PARA INSERÇÃO E OPERAÇÃO DA USINA FOTOVOLTAICA COM BATERIAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO**, 2017. Universidade Federal do Paraná.

IPARDES. “**Anuário Estatístico do Paraná 2014**”, 2014, Disponível em http://www.ipardes.pr.gov.br/anoario_2014/index.html, Acesso em Maio 2015.

KLINGUELFUS, G. **FERRAMENTA PARA APLICAÇÃO DO MANUAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA EM PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**, 2013. Universidade Tecnologia Federal do Paraná.

MME, Ministério de Minas e Energias. “**Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014 - Relatório Síntese**”, 2015, Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20>

MORAES, O.; OLIVEIRA, D. **Distributed photovoltaic generation and energy storage systems** : A review. , v. 14, p. 506–511, 2010.

MOURA. **Catálogo Técnico Moura Clean**. Brasil,2014. Disponível em:<<http://www.moura.com.br>>.Acesso em:04 de Março de 2017.

OUTBACK POWER. **Catálogo técnico Flexmax 80**. Estados Unidos, 2012. Disponível em: <<http://www.outbackpower.com>>. Acesso em: 06 de Março de 2017.

OUTBACK POWER. **Catálogo técnico Inversor GVFX**. Estados Unidos, 2012. Disponível em: <<http://www.outbackpower.com>>. Acesso em: 06 de Março de 2017.

PARRA, D.; PATEL, M. K. **Effect of tariffs on the performance and economic benefits of PV-coupled battery systems**. Applied Energy, 2016. Elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915014877>>. .

SOLAR, A. B. DE E. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. , 2017.

TIEPOLO, G. M.; JUNIOR, J. U.; PEREIRA, E. P.; PEREIRA, S. V. **ENERGIA SOLAR NO ESTADO DO PARANÁ - POTENCIAL** , , p. 1–12, 2016.

APÊNDICE A - Planilha do Programa de Eficiência Energética da COPEL

PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Concessionária: Copel Distribuição S.A. CNPJ: 04.368.898/0001-06

Nome do projeto: _____

Tipologia do projeto: Selecione a tipologia

IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA BENEFICIADA

Nome: _____

Endereço: _____

CNPJ: _____ Unidade consumidora: _____

Responsável: _____

Telefone: _____ e-mail: _____

Localização: Seleccione o município

Atividade: Seleccione o tipo de atividade

Tipo de empresa: Seleccione o tipo de empresa

Modalidade tarifária: Seleccione a modalidade tarifária

Subgrupo tarifário: Seleccione o subgrupo tarifário

IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

Nome da empresa: _____

Endereço: _____

Município: _____ Estado: --

CNPJ: _____

Responsável técnico: _____

Telefone: _____ e-mail: _____

Projeto RCB CustoContábil FIOrc FICusto FIBenef

Figura 38 - Aba "Projeto" – Informações do projeto.

Fonte: Autoria própria, 2018.

FONTES INCENTIVADAS - EX ANTE					
CUSTOS DIRETOS - EX ANTE					
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS					
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	
3	4	5	6		
4	5	6			
DADOS DOS FORNECEDORES					
			Nome do fornecedor		
			CNPJ do fornecedor		
			Data da proposta		
MÃO DE OBRA DE TERCEIROS					
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	
3	4	5	6		
CUSTOS INDIRETOS - EX ANTE					
DESCARTE DE MATERIAIS					
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	
6	7	8	9		
7	8	9			
8	9				
9					

Figura 39 - Aba "FIOrc" - Relação dos Custos Orçados do Projeto.

Fonte: Autoria própria, 2018.

FONTES INCENTIVADAS - SISTEMA PROPOSTO - EX ANTE			TOTAL	fi 1
1	Tipo de equipamento / tecnologia			
2	Potência nominal da central geradora	Wp	pp _i	
3	Quantidade de centrais geradoras		qp _i	0
4	Potência instalada de geração	kWp	Pp _i	0,00
5	Potência nominal do inversor	W	pi _i	
6	Quantidade de inversores		qi _i	0
7	Potência instalada de inversores	kW	Pi _i	0,00

FONTES INCENTIVADAS - RESULTADOS ESPERADOS - EX ANTE			TOTAL	fi 1
11	Demanda atendida pela fonte incentivada na ponta	kW	DA _{pi}	0,00
	Tarifa de demanda na ponta (R\$/kW)	R\$		0,00
12	Demanda atendida pela fonte incentivada fora da ponta	kW	DA _{fpi}	0,00
13	Energia gerada pela fonte incentivada na ponta	MWh/ano	EG _{pi}	0,00
	Tarifa de energia na ponta (R\$/MWh)	R\$		0,00
14	Energia gerada pela fonte incentivada fora da ponta	MWh/ano	EG _{fpi}	0,00
	Tarifa de energia fora de ponta (R\$/MWh)	R\$		0,00
15	Energia gerada	MWh/ano	EG _i	0,00
	Benefício anualizado fontes incentivadas - Ex ante	R\$	B _{fi}	0,00

RCB _{FI}	0,00
RCB _{PEE}	0,00

Projeto	RCB	CustoContábil	FIOrç	FICusto	FIBenef
---------	-----	---------------	-------	---------	---------

Figura 40 - Aba "FIBenef" - Cálculo do RCB.

Fonte: Autoria própria, 2018.

FONTES INCENTIVADAS - EX ANTE			
CUSTOS DIRETOS - EX ANTE			
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS			
1	2	Vida útil	Valor unitário
Materiais e equipamentos			
1			R\$ -
2			R\$ -
Mão de obra de terceiros			
Transporte			
Sub total - Custos diretos			
CUSTOS INDIRETOS - EX ANTE			
CUSTOS INDIRETOS			
Administração própria			
Marketing			
Treinamento e capacitação			
Descarte de materiais		Quantidade	Valor unitário
1			R\$ -
2			R\$ -
Descarte de materiais			
Medição e verificação			
Outros custos indiretos		Quantidade	Valor unitário
1			R\$ -
2			R\$ -
Outros custos indiretos			
Sub total - Custos indiretos			
Custos fontes incentivadas - Ex ante			

Projeto	RCB	CustoContábil	FIOrç	FICusto	FIBenef
---------	-----	---------------	-------	---------	---------

Figura 41 - Aba "FICusto" - Cálculo dos custos do Projeto.

Fonte: Autoria própria, 2018.