UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ALAN MELLO DA CRUZ

ANNA CAROLINA CANEDO CARVALHO

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA INSTALAR NOS PONTOS DE ÔNIBUS DA CIDADE DE CURITIBA PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2017

ALAN MELLO DA CRUZ

ANNA CAROLINA CANEDO CARVALHO

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA INSTALAR NOS PONTOS DE ÔNIBUS DA CIDADE DE CURITIBA PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Marcelo Barcik, Me.

CURITIBA

2017

ALAN MELLO DA CRUZ
ANNA CAROLINA CANEDO CARVALHO

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA INSTALAR NOS PONTOS DE ÔNIBUS DA CIDADE DE CURITIBA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 14 de junho de 2017.

_____
Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

_____
Profa. Annemarlen G. Castagna, Dra.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

_____
Marcelo Barcik, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

_____
Marcelo Barcik, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____
Saul Hirsch, Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____
Jaime Favretto, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____
Fillipe Alexandre Moraes, Eng.

DEDICATÓRIA

Em memória a minha mãe Cotilina, que sempre acreditou e me orientou até onde foi possível. Ao meu pai Luiz por ser meu porto seguro e ter me apoiado no curso desde o começo. A família Bonfim por me receberem aqui em Curitiba como um filho e irmão. Aos meus amigos que foram a válvula de escape e principalmente a Anna Carolina por acreditar no meu potencial, apoiar e me guiar muitas vezes pela graduação.

Alan Mello da Cruz

Á Deus, pela oportunidade de ingressar e concluir um curso superior. Aos meus pais, Luis e Terezinha, e minha irmã, Anna Livia, pelo amor incondicional e por serem os principais contribuintes para a realização do sonho de me tornar engenheira. Ao restante da minha família, que mesmo longe sempre me deram força e apoio nessa jornada. Aos meus amigos, que tornaram essa caminhada mais leve e divertida e ao Alan, por ser meu companheiro não apenas nesse trabalho, como em toda a graduação.

Anna Carolina Canedo Carvalho

Agradecemos ao nosso professor Orientador Marcelo Barcik, pelo apoio, dedicação e compreensão durante este trabalho. E também aos demais professores que tivemos durante a graduação, pelos seus ensinamentos e paciência que nos tornaram profissionais deste ramo.

RESUMO

CRUZ, Alan M.; CARVALHO, Anna Carolina C. Estudo da viabilidade técnica e econômica para instalar nos pontos de ônibus de Curitiba painéis fotovoltaicos conectados à rede elétrica. 2. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Este trabalho apresenta o estudo de viabilidade para a implantação de geração fotovoltaica em cima dos pontos de ônibus da cidade de Curitiba. Primeiramente é explicada a história da energia fotovoltaica e depois o seu funcionamento. São abordados conceitos básicos referentes à produção de energia elétrica, com maior ênfase na energia solar fotovoltaica. O funcionamento e as partes componentes dos painéis solares fotovoltaicos são explicados. As principais tecnologias presentes no mercado e suas características são citadas na sequência. Também são consideradas as normas e a regulamentação relacionadas à instalação de painéis fotovoltaicos à rede elétrica. Após a análise teórica, é feito o estudo do local de instalação dos painéis, considerando três situações. Realizado o projeto preliminar de instalação, analisa-se o tempo de amortização dos gastos, concluindo-se, então, o estudo ao verificar a viabilidade do projeto.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. Energia Solar. Geração fotovoltaica.

ABSTRACT

CRUZ, Alan M.; CARVALHO, Anna Carolina C. Study of the technical and economic feasibility to install in the bus stops of Curitiba photovoltaic panels connected to the electric grid. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

This work presents the feasibility study for the implantation of photovoltaic generation over the bus stops of the city of Curitiba. First the history of photovoltaic energy and then it's operation is explained. Basic concepts related to the production of electric energy, with a greater emphasis on solar photovoltaic energy, are discussed. The operation and the component parts of the photovoltaic solar panels are explained. The main technologies present in the market and their characteristics are mentioned in the sequence. Also considered are the regulations and regulations related to the installation of photovoltaic panels to the grid. After the theoretical analysis, the study of the place of installation of the panels is carried out, considering three situations. Once the preliminary installation project has been completed, the time for amortization of expenses is analyzed, and the study is then concluded by verifying the feasibility of the project.

Keywords: Grid-connected photovoltaic power system. Solar energy. Photovoltaic power generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Layout do modelo atual de abrigo de ônibus 14
Figura 2 - Modelo de abrigo de ônibus instalado..... 15
Figura 3 - Produção mundial de células fotovoltaicas 23
Figura 4 - Átomo de silício..... 24
Figura 5 - Cristal de silício dopado com fósforo 25
Figura 6 - Cristal de silício dopado com boro 26
Figura 7 - Esquema óptico de transições possíveis de um elétron 27
Figura 8 - Funcionamento do efeito fotoelétrico 28
Figura 9 - Painel monocristalino..... 29
Figura 10 - Painel policristalino 30
Figura 11 - Painel amorfo..... 31
Figura 12 - Área necessária para gerar 1kWp..... 32
Figura 13 - Arranjo das células FV para gerar um arranjo final..... 32
Figura 14 - Estrutura módulo fotovoltaico..... 33
Figura 15 - Ponto no centro da cidade 25°26'22.4"S 49°16'11.2"W 38
Figura 16 - Ponto ao norte da cidade 25°21'53.7"S 49°12'51.2"W..... 38
Figura 17 - Ponto ao sul da cidade 25°34'11.6"S 49°16'55.7"W 38
Figura 18 - Dimensões dos pontos de ônibus 39
Figura 19 - Dimensões do painel..... 41
Figura 20 - Inversor fotovoltaico..... 42
Figura 21 - Orçamento kit fotovoltaico 1,06 kWp..... 56
Figura 22 - Payback para 1200 com sol o dia todo 60
Figura 23 - Payback para 1200 com sol em pelo menos metade do dia..... 62
Figura 24 - Payback para 1200 que quase não recebem sol 64
Figura 25 - Payback para os 3600 pontos..... 66
Figura 26 - Payback para os 2400 pontos..... 68
Figura 27- Payback para 1200 pontos de ônibus com sol o dia todo aplicando o custo evitado na poupança 70
Figura 28- Payback para 1200 com sol em pelo menos metade do dia aplicando o custo evitado na poupança 72
Figura 29- Payback para 1200 pontos de ônibus que quase não recebem sol aplicando o custo evitado na poupança. 73
Figura 30- Payback para os 3600 pontos de ônibus investindo o dinheiro do custo evitado na poupança 75
Figura 31 - Payback para os 2400 pontos de ônibus investindo o dinheiro do custo evitado na poupança 76
Figura 32- Payback para 1200 pontos de ônibus com em pelo menos metade do dia aplicando o custo evitado no tesouro nacional..... 79
Figura 33 - Payback para 1200 com sol em pelo menos metade do dia aplicando o custo evitado no tesouro nacional..... 80
Figura 34 - Payback para 1200 pontos de ônibus que quase não recebem sol aplicando o custo evitado no tesouro nacional..... 82
Figura 35 - Payback para os 3600 pontos de ônibus investindo o dinheiro do custo evitado no tesouro nacional..... 83

Figura 36- Payback para os 2400 pontos de ônibus investindo o dinheiro do custo evitado no tesouro nacional 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potência instalada em cada ponto de ônibus 43
Tabela 2 - Irradiação média mensal para o ponto central da cidade 44
Tabela 3 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao norte da cidade 44
Tabela 4 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao sul da cidade 45
Tabela 5 - Irradiação média mensal para o ponto central da cidade com 75% de irradiação 45
Tabela 6 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao norte da cidade com 75% de irradiação 46
Tabela 7 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao sul da cidade com 75% de irradiação 46
Tabela 8 - Irradiação média mensal para o ponto central da cidade com 50% de irradiação 47
Tabela 9 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao norte da cidade com 50% de irradiação 48
Tabela 10 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao sul da cidade com 50% de irradiação 48
Tabela 11 – Produtividade dos pontos centrais da cidade com 100% de irradiação 49
Tabela 12 - Produtividade dos pontos mais ao norte da cidade com 100% de irradiação 50
Tabela 13 - Produtividade anual dos pontos mais ao sul da cidade com 100% de irradiação 50
Tabela 14 - Produtividade média dos pontos com 100% de irradiação 51
Tabela 15 - Produtividade dos pontos centrais da cidade com 75% de irradiação 51
Tabela 16 - Produtividade dos pontos ao norte da cidade com 75% de irradiação 52
Tabela 17 - Produtividade dos pontos ao sul da cidade com 75% de irradiação 52
Tabela 18 – Produtividade média dos pontos com 75% de irradiação 53
Tabela 19 - Produtividade dos pontos centrais da cidade com 50% de irradiação 53
Tabela 20 - Produtividade dos pontos ao norte da cidade com 50% de irradiação 54
Tabela 21 - Produtividade dos pontos ao sul da cidade com 50% de irradiação 54
Tabela 22 - Produtividade média dos pontos com 50% de irradiação 55
Tabela 23 - Investimento para um ponto 57
Tabela 24 - Média de reajuste tarifário COPEL 2006 até 2016 57
Tabela 25 - Tabela de dados para o cálculo do payback 59
Tabela 26 - Payback para o caso 1 59
Tabela 27 - Payback para o caso 2 61
Tabela 28 - Payback para o caso 3 63
Tabela 29 - Payback para os 3600 pontos 65

Tabela 30 - Payback para os 2400 pontos 67
Tabela 31 - Taxa de juros anual da poupança de 2006 até 2016 69
Tabela 32- Payback para o caso de 100% irradiação aplicando o custo evitado na poupança..... 69
Tabela 33 - Payback para o caso de 75% irradiação aplicando o custo evitado na poupança..... 71
Tabela 34- Payback para o caso de 50% irradiação aplicando o custo evitado na poupança..... 72
Tabela 35- Payback em milhões de reais para os 3600 pontos investindo o custo evitado na poupança 74
Tabela 36 - Payback em milhões de reais para os 2400 pontos investindo o custo evitado na poupança 75
Tabela 37- Valores da inflação de 2006 a 2016 77
Tabela 38 - Payback para o caso de 100% de irradiação aplicando o custo evitado no Tesouro nacional 78
Tabela 39- Payback para o caso de 75% de irradiação aplicando o custo evitado no Tesouro nacional 79
Tabela 40- Payback para o caso de 50% irradiação aplicando o custo evitado no tesouro nacional 81
Tabela 41 - Payback em milhões de reais para os 3600 pontos investindo o custo evitado no tesouro direto 82
Tabela 42 - Payback em milhões de reais para os 2400 pontos investindo o custo evitado no tesouro nacional 84

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilowatt-pico
MWp	Megawatt-pico
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectados À Rede
URBS	Urbanização de Curitiba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
1.1. TEMA 13
1.1.1. Delimitação do Tema 14
1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS 16
1.3. OBJETIVOS 17
1.3.1. Objetivo Geral 17
1.3.2. Objetivos Específicos 17
1.4. JUSTIFICATIVA 18
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 19
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO 20
2. A ENERGIA FOTOVOLTÁICA 21
2.1. HISTÓRIA DA CÉLULA FOTOVOLTÁICA 22
2.2. FUNCIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS 23
2.2.1. Material Semicondutor Silício 23
2.2.2. Efeito Fotoelétrico em Semicondutores e Fotovoltaico 26
2.2.3. Tipos de células fotovoltaicos 28
2.2.4. Módulos fotovoltaicos 32
2.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA 33
2.3.1. Resoluções da ANEEL 34
2.3.2. Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede 36
3. ESTUDO DO CASO 37
3.1. COLETA DE DADOS 37
3.2. DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR E POTENCIAL FOTOVOLTAICO DE CURITIBA 37
3.3. DIMENSÕES DA COBERTURA 39
3.4. INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO 40
3.5. EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS 40
3.5.1. Painel Fotovoltaico 41
3.5.2. Inversores 42
4. RESULTADOS 43
4.1. CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE DO CONJUNTO DE PAINÉIS DE CADA PONTO DE ÔNIBUS 43
4.1.1. Cálculo da Potência Instalada em Cada Ponto de Ônibus 43
4.1.2. Cálculo da Irradiação Mensal em Cada Ponto de Ônibus 43

4.1.3. Cálculo da Produtividade Anual de Cada Ponto de Ônibus 49
4.2. CÁLCULO DO PAYBACK DO CONJUNTO DE PAINÉIS 55
4.2.1. *Payback* para os 1200 Pontos que São Expostos ao Sol o Dia Todo 59
4.2.2. *Payback* para os 1200 Pontos que São Expostos ao Sol em Pelo Menos Metade do Dia 61
4.2.3. *Payback* para os 1200 Pontos que Quase Não Recebem Sol 63
4.2.4. *Payback* para os 3600 Pontos 65
4.2.5. *Payback* para os 2400 Pontos 67
4.3. CÁLCULO DO PAYBACK DO CONJUNTO DE PAINÉIS INVESTINDO O CUSTO EVITADO NA POUPANÇA 68
4.3.1. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem 100% de Irradiação por Dia Aplicando o Custo Evitado na Poupança 69
4.3.2. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem 75% de Irradiação por Dia Aplicando o Custo Evitado na Poupança 71
4.3.3. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem 50% de Irradiação por Dia Aplicando o Custo Evitado na Poupança 72
4.3.4. *Payback* para os 3600 Pontos 74
4.3.5. *Payback* para os 2400 Pontos 75
4.4. CÁLCULO DO PAYBACK DO CONJUNTO DE PAINÉIS INVESTINDO O CUSTO EVITADO NO TESOURO NACIONAL 77
4.4.1. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem Irradiação 100% do Dia Aplicando o Custo Evitado no Tesouro Nacional 77
4.4.2. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem Irradiação 75% do Dia Aplicando o Custo Evitado no Tesouro Nacional 79
4.4.3. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem Irradiação 50% do Dia Aplicando o Custo Evitado no Tesouro Nacional 81
4.4.4. *Payback* para os 3600 Pontos 82
4.4.5. *Payback* para os 2400 Pontos 84
5. CONCLUSÃO 86
REFERÊNCIAS 89

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEMA

O crescimento contínuo do consumo de energia relacionado ao aumento da população mundial e a poluição gerada pela queima de combustíveis fósseis implica em questionamentos sobre o atual modelo energético. O interesse pela busca de um modelo sustentável que permite satisfazer as necessidades energéticas sem modificar as condições de vida no planeta aumenta a cada dia e atrai novos investimentos e estudo na área.

Controlar as mudanças tecnológicas, a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento populacional e industrial acabam se tornando uma tarefa difícil.

Quando se fala em “energia limpa”, não quer dizer que seja um tipo de geração de energia que não cause nenhum impacto ambiental, pois, até o momento, esse sonho ainda não se tornou realidade. Na verdade, a energia limpa refere-se àquela fonte de energia que não lança poluentes na atmosfera e que apresenta um impacto sobre a natureza somente no local da instalação da usina (FOCAÇA, 2016).

É nesse contexto que se insere a energia fotovoltaica, que é um modelo sustentável capaz de suprir parte da demanda necessária.

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial dos extremos de uma estrutura de um material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (CRESESB, 2006).

A conversão fotovoltaica de energia solar, mais especificamente nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), surge então como opção a ser analisada. Em termos ambientais e técnicos, esses sistemas apresentam inúmeras vantagens em relação às fontes convencionais. Elas

podem produzir eletricidade de forma silenciosa, sem emitir poluentes e aproveitando a energia solar incidente no próprio local de instalação. A energia gerada pode ser destinada ao consumo da edificação e, havendo excedentes, estes não precisam ser guardados em baterias, pois podem ser injetados diretamente na rede elétrica de distribuição. (BENEDITO, 2009).

1.1.1. Delimitação do Tema

A possibilidade de integrar a geração ao ponto de consumo, sem a necessidade de área adicional, utilizando a própria cobertura da edificação ou a sua fachada, desde que harmonicamente combinada, permite minimizar as perdas de energia elétrica. (URBANETZ, 2010).

Visando aproveitar o potencial energético que Curitiba possui, será proposto um estudo da viabilidade de implantar módulos fotovoltaicos em áreas que hoje não são aproveitadas.

O objeto de estudo será o modelo atual de abrigo de ônibus (implantado em 2002), desenvolvido pelo arquiteto Manoel Coelho, conforme figura 1 e 2.

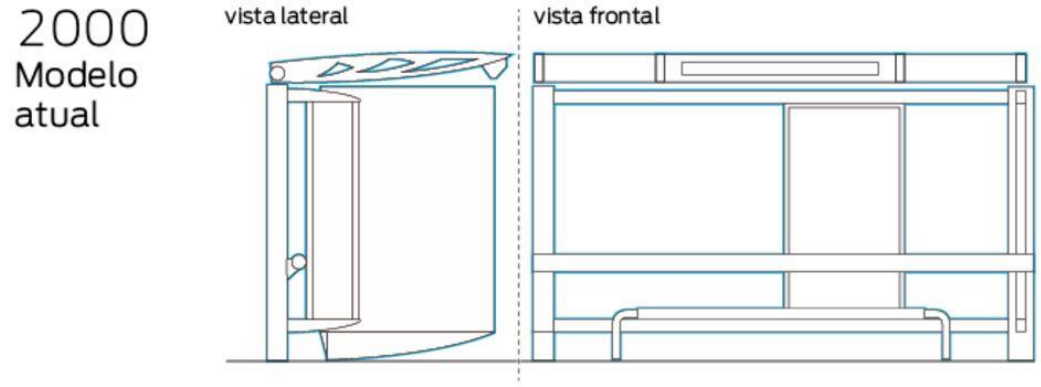


Figura 1 - Layout do modelo atual de abrigo de ônibus
Fonte: URBS, (2016).

Figura 2 - Modelo de abrigo de ônibus instalado
Fonte: Manoel Coelho, (2016).

Em Curitiba existem cerca de 3600 pontos de ônibus espalhados pela cidade que possuem uma área em sua cobertura que poderia ser aproveitada para instalar os painéis fotovoltaicos.

Esses painéis irão gerar uma quantidade de energia elétrica que será conectada em paralelo com a rede. Dessa forma nosso trabalho estudará a viabilidade técnica e econômica da implementação desse sistema.

1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS

A sociedade tem se questionado cada vez mais sobre os impactos sociais, econômicos e ambientais ocasionados para a sustentação do modelo de vida atualmente praticado, onde o apelo ao consumo é cada vez maior. Esta maior consciência faz com que temas como Efeito Estufa, Aquecimento Global e Desenvolvimento Sustentável sejam cada vez mais abordados nas esferas da sociedade, nos mais variados níveis (TIEPOLO, 2015).

Este trabalho propõe um novo sistema que minimize os gastos públicos com energia elétrica e que, ao mesmo tempo, aproveite o potencial energético da cidade de Curitiba, sem acarretar danos ao meio ambiente.

A ideia é que com a implantação desse sistema, a energia gerada nos painéis fotovoltaicos estará em paralelo com a concessionária, dessa forma, toda a energia gerada pelos painéis estará sendo exportada para a rede, diminuindo assim os gastos com a energia elétrica, tornando-se uma nova fonte de receita para a empresa.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Realizar uma estimativa da viabilidade técnica e econômica da instalação de painéis fotovoltaicos nos pontos de ônibus em Curitiba em geração distribuída.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Efetuar uma pesquisa bibliográfica a respeito dos conceitos que envolvem desenvolvimento sustentável, geração de energia elétrica por fonte solar fotovoltaica e suas aplicações;
- Estudar sobre a geração distribuída;
- Pesquisar sobre potencial fotovoltaico da cidade;
- Levantar dados sobre as dimensões dos pontos de ônibus, e avaliar o número de painéis que podem ser instalados;
- Calcular as estimativas de geração para os pontos da cidade;
- Orçar o custo do material a ser instalado;
- Avaliar o tempo necessário para haver o retorno financeiro.

1.4. JUSTIFICATIVA

A realização deste trabalho de conclusão justifica-se pela importância de aproximar a faculdade de um problema real, tornando possível colocar em prática os conhecimentos obtidos durante o curso para ajudar a sociedade.

Com a implementação de um sistema desse porte existem vantagens para as companhias de energia elétrica, já que as perdas pelo chamado efeito joule serão menores devido a redução da sobrecarga nas linhas de transmissão. E também contribui para que Curitiba mantenha seu título de cidade ecológica perante o mundo, já que esse título tem perdido sua credibilidade nos últimos anos.

É importante também proporcionar novas alternativas renováveis de geração de energia elétrica, procurar substitutos ecologicamente aceitáveis e buscar soluções para preservar o meio ambiente e viver em um mundo mais sustentável. Além de tentar reduzir os gastos públicos com a concessionária, já que o modelo oferece grande economia para o consumidor.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A princípio será realizado um estudo teórico sobre os assuntos que serão abordados, visando aprofundar conhecimentos sobre a área de energia fotovoltaica, o potencial fotovoltaico da cidade de Curitiba e os equipamentos necessários para o correto funcionamento do sistema.

Após essa etapa, entrará a parte de cálculo em que será analisado o quanto os módulos poderão gerar. Também será feito um orçamento dos materiais que serão utilizados, como por exemplo, os painéis fotovoltaicos, inversores CC/CA, um invólucro para armazenamento do Inversor, disjuntor, etc.

Por fim, será verificada se a quantidade de energia gerada pelos módulos fotovoltaicos fornecerá um retorno financeiro referente aos gastos com os equipamentos para a implantação do sistema.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será estruturado da seguinte maneira:

- Capitulo 1 – Introdução - Neste capítulo será feita uma apresentação do trabalho, incluindo tema, delimitação do tema, problemas e premissas, objetivos, justificativa e procedimentos metodológicos.
- Capítulo 2 – Referenciais Teóricos – Neste capítulo será abordado toda a pesquisa teórica referente à energia fotovoltaica. Desde o funcionamento dos painéis fotovoltaicos até a escolha do modelo que será utilizado.
- Capítulo 3 – Estudo de Caso – Neste capítulo será realizado uma coleta de dados necessários para realizar os cálculos do próximo capítulo.
- Capítulo 4 – Cálculo do Potencial Energético e Retorno Financeiro – Aqui será realizado os cálculos de geração de energia dos módulos fotovoltaicos bem como o tempo necessário para haver o retorno financeiro do investimento.
- Capítulo 5 – Conclusão – Neste capitulo será feita uma comparação dos resultados obtidos no capítulo 4 e verificar se será viável a instalação do sistema.

2. A ENERGIA FOTOVOLTÁICA

O Sol é uma fonte inesgotável de energia na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz. A Terra recebe anualmente $1{,}5\ x\ 10^{18}\ kWh$ de energia solar o que indica que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, o Sol também é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. (site ANEEL, 2016).

Estas outras fontes de energia são chamadas de formas de energia solares indiretas e são elas: hidráulica, eólica, combustíveis fosseis e biomassa. A radiação solar pode também pode ser utilizada como fonte de energia térmica e para geração de potência mecânica ou elétrica. A energia solar pode ainda ser convertida em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais destacando-se a energia fotovoltaica (site ANEEL, 2016).

Os sistemas solares fotovoltaicos se apresentam como fontes renováveis de energia elétrica bastante adequada para a utilização no meio urbano, podendo fazer com que haja redução quase que total de perdas na transmissão da energia devido à proximidade entre geração e consumo.

Segundo o site Solar Brasil (2016) a utilização de energia fotovoltaica possui diversas vantagens, algumas delas são:

- Não necessita de combustível;
- Não causa poluição nem contaminação ambiental;
- Possui vida útil superior a 20 anos;
- É resistente a condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e umidade);
- Não possui peças móveis e, portanto, exige pouca manutenção (só a limpeza do painel);
- Permite aumentar a potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais.

2.1. HISTÓRIA DA CÉLULA FOTOVOLTÁICA

O efeito fotovoltaico nada mais é do que a conversão da energia solar em energia elétrica. Este efeito foi observado pela primeira vez por Edmond Bequerel em 1839, que verificou que placas metálicas de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito produzia uma pequena diferença de potencial quando eram expostas à luz. (VALLÊRA, 2006).

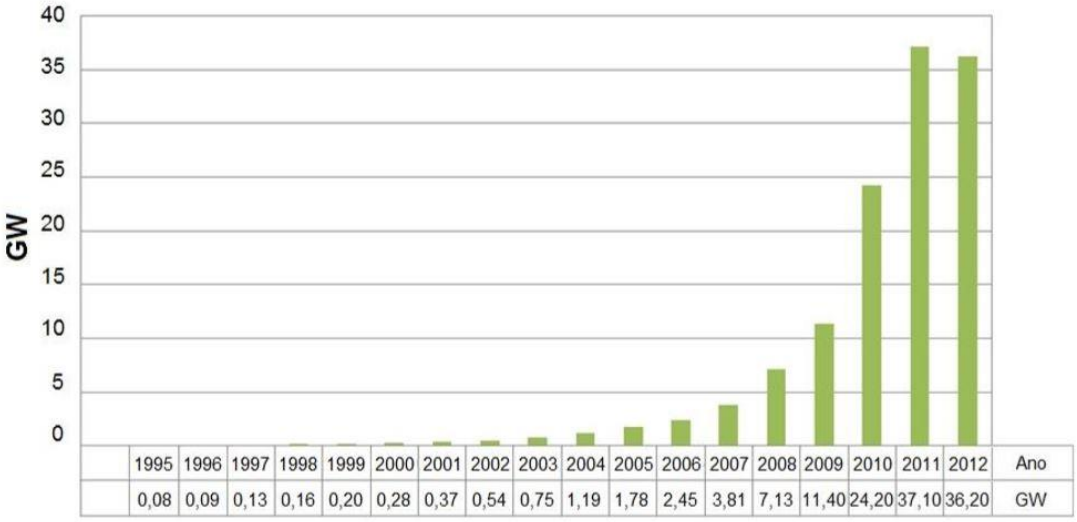
Em 1956, impulsionadas pelo avanço da microeletrônica, foram construídas as primeiras células fotovoltaicas industriais. Mas o alto custo de produção destas células era um fator preocupante devido a menor quantidade de energia produzida por ela. Era necessário reduzir o custo significativamente. Por isso o desenvolvimento do mercado foi muito lento e gradativo. Em 1978, um pouco mais de 20 anos depois, a produção já chegava a 1 MWp/ano. Com o aumento da pesquisa em tecnologia em materiais utilizados para a fabricação das células fotovoltaicas e do aumento da escala de produção no mundo todo, o custo de fabricação começou a diminuir. (NASCIMENTO, 2004).

A produção de células fotovoltaicas atingiu a marca de 60 MWp em 1993, tendo o silício como material mais utilizado. O Silício é segundo elemento mais abundante no nosso planeta e é explorado em diversas formas: monocristalino, policristalino e amorfo. No entanto, segundo o centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESEB) a busca de materiais alternativos é intensa e concentra-se na área de filmes finos, onde o silício amorfo se enquadra. Células de filmes finos, além de utilizarem menor quantidade de material do que as que apresentam estruturas cristalinas requerem uma menor quantidade de energia no seu processo de fabricação. Ou seja, possuem uma maior eficiência energética.

A produção mundial de células fotovoltaicas atingiu a marca de 160MWp em 1998. Com este grande salto no mercado de painéis fotovoltaicos a produção chinesa de células fotovoltaicas aumentou rapidamente e em 2008 três dos dez maiores fabricantes do mundo eram

da China e em 2009 a China alcançou na liderança na fabricação desses módulos. (CRESESB, 2014).

A figura 3 apresenta a evolução da produção mundial de células fotovoltaicas até o ano de 2012. Este grande crescimento ocorreu principalmente nos países desenvolvidos devido aos fortes incentivos que foram concedidos para a instalação deste sistema.



	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Ano
	0,08	0,09	0,13	0,16	0,20	0,28	0,37	0,54	0,75	1,19	1,78	2,45	3,81	7,13	11,40	24,20	37,10	36,20	GW

Figura 3 - Produção mundial de células fotovoltaicas
Fonte: CRESESB, (2016).

A energia solar fotovoltaica é normalmente utilizada em pequenas instalações o que a torna, econômica, eficiente e segura. O Brasil dispõe de um dos maiores potenciais do mundo para o aproveitamento de energias renováveis principalmente a energia solar, e além de ecologicamente correto, é uma fonte inesgotável de energia.

2.2. FUNCIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

2.2.1. Material Semicondutor Silício

De acordo com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil elaborado pela ANEEL (2005) a conversão da energia solar em energia elétrica ocorre pelo efeito da radiação sobre um material semicondutor. Os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica através de células solares.

Onde ocorre o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de um material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão. (CRESESB, 2006).

Yolanda Vieira Abreu et. al (2010) explica a utilização do silício para realizar o efeito fotovoltaico. A figura 4 apresenta um átomo de silício, note que a camada de valência possui 4 elétrons.

> Entre os materiais semicondutores, o silício é o semicondutor mais aplicado no mundo fotovoltaico. Cada átomo do elemento silício, cujo número atômico é 14, possui 14 elétrons distribuídos em três órbitas ao redor do seu núcleo, sendo dois elétrons na órbita mais interna, oito elétrons na órbita intermediária e quatro elétrons na órbita mais externa. Os elétrons da órbita mais externa do átomo interagem com os átomos vizinhos, formando estruturas sólidas. Cada átomo faz uma ligação covalente com cada um de outros quatro átomos vizinhos, permitindo que os quatro átomos passem a ter suas órbitas externas completas, com oito elétrons cada, formando uma estrutura cristalina. Cada uma dessas ligações covalentes entre os elétrons de diferentes átomos pode ser quebrada se um dos elétrons receber energia externa suficiente para se afastar mais do seu respectivo núcleo, livrando-se da atração deste. Com isso, o elétron deixa a banda de valência, em que não pode se movimentar livremente, passando para a banda de condução. A saída do elétron da banda de valência deixa uma lacuna elétrica, o que cria o par elétron-lacuna, originando a partir do aumento da energia do elétron. (ABREU et al., 2010).

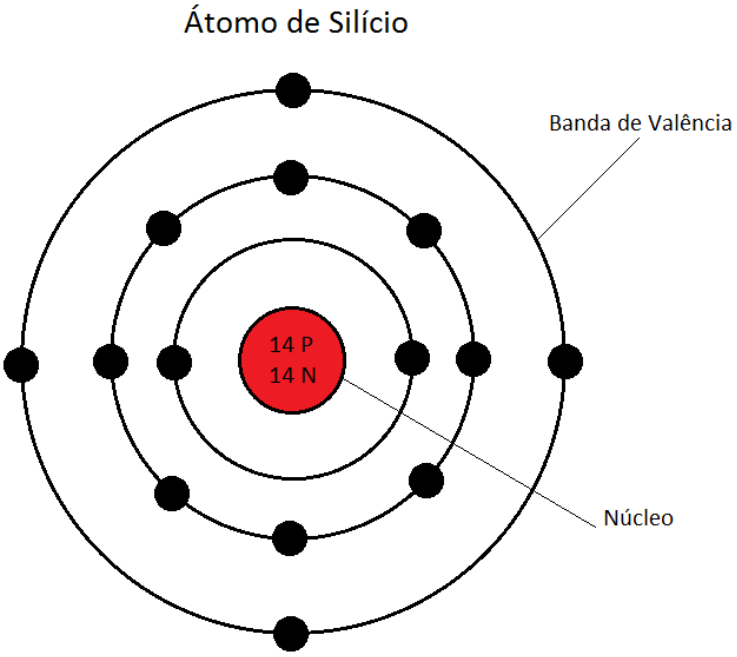


Figura 4 - Átomo de silício
Fonte: Blog Fotovoltaico, (2016).

Através do processo de dopagem pode-se produzir tanto o silício tipo n quanto o silício tipo p. A figura 5 apresenta a dopagem tipo n utilizando silício e fósforo. Freitas (2006) comenta sobre este processo.

> Quando o silício possui quatro elétrons na banda de valência se une a um elemento que possui cinco elétrons na banda de valência, como fósforo ou o arsênio, a estrutura contará com um elétron extra. Este elétron extra necessitará de uma quantidade pequena de energia térmica para se desprender do núcleo e passar para a banda de condução. Nesse caso, o fósforo é um material dopante doador de elétrons, denominado dopante N ou impureza N; essa dopagem é denominada dopagem do tipo N. (FREITAS, 2006).

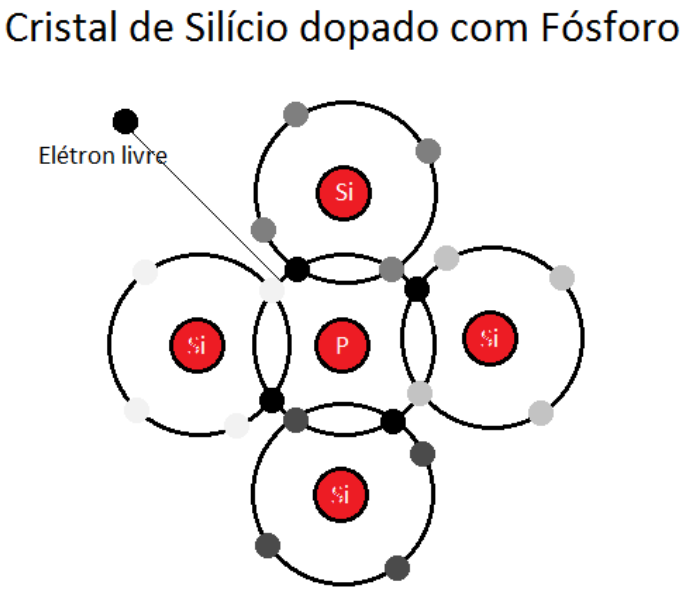


Figura 5 - Cristal de silício dopado com fósforo
Fonte: Blog Fotovoltaico, (2016).

Da mesma forma como explicado anteriormente Suzuki explica o tipo de dopagem p.

> Com uma pequena quantidade de energia um elétron pode se deslocar para a lacuna fazendo com que o buraco se desloque. O boro e o índio são elementos que possuem três elétrons na banda de valência, e neste caso, são chamados de dopante P ou impureza P; essa dopagem é denominada dopagem do tipo P (SUZUKI, 2013)

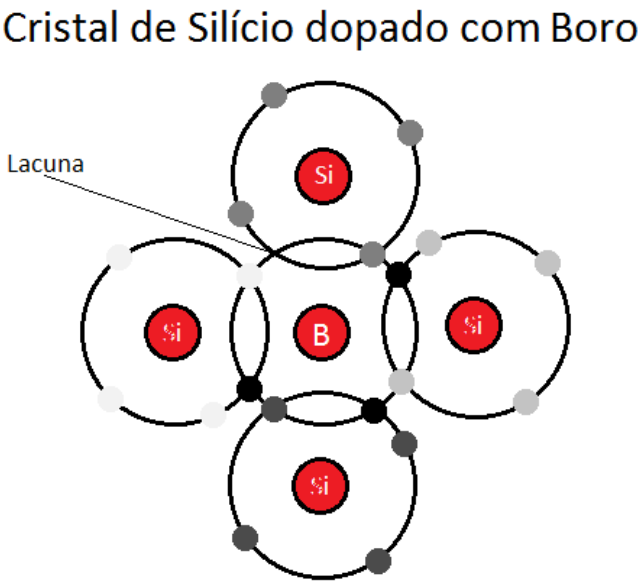


Figura 6 - Cristal de silício dopado com boro
Fonte: Blog Fotovoltaico, (2016).

Note na figura 6 que com essa lacuna o cristal de silício dopado com boro está mais propicio a receber elétrons.

Castro (2002) resume a maneira que as células fotovoltaicas são construídas, por um material semicondutor (o silício) ao qual são adicionadas ao qual são adicionadas substâncias, ditas dopantes (tipo p e n), de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico, isto é, conversão direta da potência associada à radiação solar em potência elétrica CC.

2.2.2. Efeito Fotoelétrico em Semicondutores e Fotovoltaico

Conforme argumenta Shalímova (1975), o efeito fotoelétrico é um processo de ionização de átomos do semicondutor sob a ação da luz que possibilita a formação de cargas em desequilíbrio adicional, e a essa condutividade adicional dá-se o nome de fotocondutividade.

Segundo Freitas (2006) o processo primário em um efeito fotoelétrico interno consiste na absorção de um fóton com energia suficiente para excitar um elétron da banda de valência para a banda de

condução (transição 1 e 2) e em níveis locais dispostos na banda proibida do semicondutor (transição 3), conforme a figura 7.

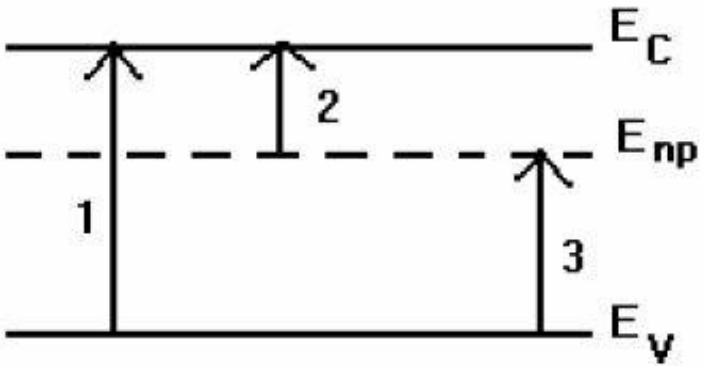


Figura 7 - Esquema óptico de transições possíveis de um elétron
Fonte: FREITAS, (2006).

A transição (1) dá lugar à formação do par elétron-lacuna, enquanto que, as transições (2) e (3) formam portadores do mesmo sinal. (FREITAS, 2006).

O CRESESB (2006) explica que se uma junção p-n for exposta a fótons com energia maior que o gap, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna. Se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, será gerada uma corrente através da junção, assim criando uma diferença de potencial ao qual chamamos de efeito fotovoltaico.

Dessa forma temos as condições necessárias para que ocorra o efeito fotoelétrico, uma célula de silício com uma junção p-n na qual é aplicado uma quantidade de energia solar, gerando uma diferença de potencial em seus terminais, como Shayane (2006) descreve.

> Estas são as condições necessárias para que o efeito fotoelétrico ocorre, pois quando um elétron do lado P recebe energia suficiente do fóton da luz solar e move-se para a banda de condução, criando o par elétron-lacuna, o campo elétrico permanente o envia para o lado N, não permitindo sua volta, ao mesmo tempo que repele a lacuna para o extremo do lado P. Basta que contatos sejam colocados nas duas extremidades do material semicondutor dopado para que o elétron seja coletado na camada N, passe pela carga elétrica externa e retorne para a lacuna, que o aguarda na camada P. (SHAYANE, 2006)

A figura 8 demonstra o efeito fotoelétrico explicado por Shayane (2006).

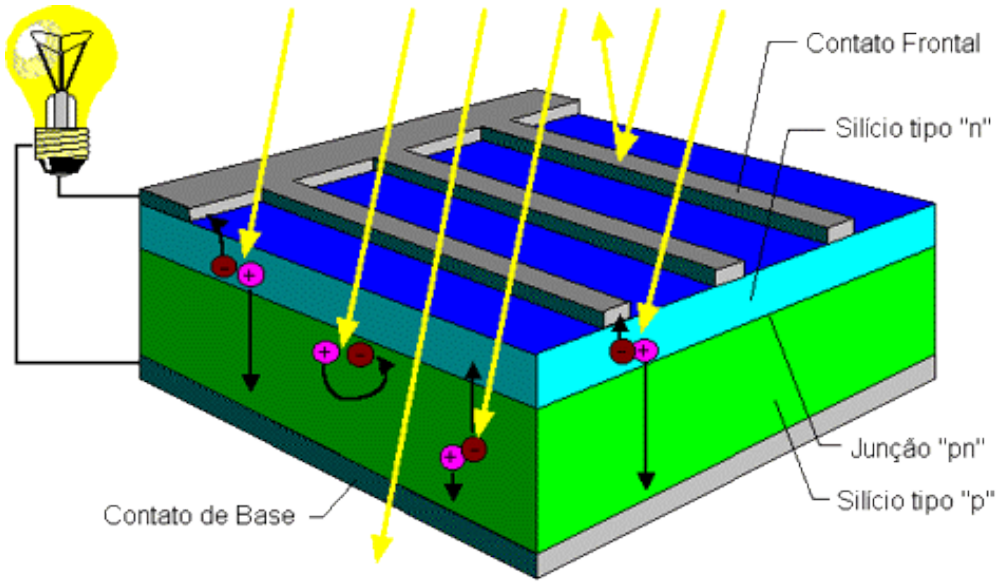


Figura 8 - Funcionamento do efeito fotoelétrico
Fonte: SHAYANE, (2006).

2.2.3. Tipos de células fotovoltaicos

A função da célula fotovoltaica consiste em converter a energia solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico.

As principais células fotovoltaicas encontradas comercialmente são:

- Silício Monocristalino

  Obtém-se a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas finas (0,4 – 0,5 mm² de espessura). (NASCIMENTO, 2004). A figura 9 apresenta um painel fotovoltaico com a tecnologia de silício monocristalino.

Figura 9 - Painel monocristalino
Fonte: Portal Solar, (2016).

Segundo o Portal Solar (2016), a tecnologia monocristalina é a mais antiga e também uma das mais caras, porém elas possuem a eficiência mais alta. Comercialmente falando, a eficiência dos painéis é de 14 a 21%. O painel monocristalino ocupa um espaço menor para gerar a mesma quantidade de energia que os outros tipos de painéis, funciona melhor em dias nublados e possui vida útil longa, cerca de 30 anos. (SOLARVOLT, 2016).

- Silício Policristalino

São produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício esfria lentamente e solidifica-se. Nesse processo, os átomos não se

organizam num único cristal. (NASCIMENTO, 2004). A figura 10 demonstra um painel policristalino.

Figura 10 - Painel policristalino
Fonte: Portal Solar, (2016).

Eles são semelhantes aos de um único cristal (monocristalino) tanto no desempenho como na degradação, exceto que as células são ligeiramente menos eficientes. (PORTAL SOLAR, 2016).

- Silício Amorfo

São obtidas por meio da deposição de camadas finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. (NASCIMENTO, 2004). A figura 11 apresenta um painel amorfo.

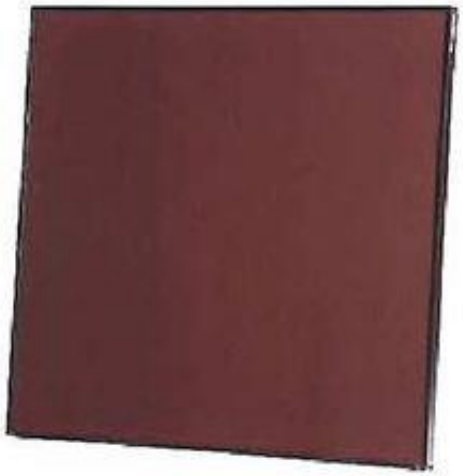


Figura 11 - Painel amorfo
Fonte: Portal Solar, (2016).

Várias camadas de células solares de silício amorfo podem ser combinadas, o que resultam em taxas mais elevadas de eficiência (6% a 9%). (PORTAL SOLAR, 2016).

> Devido à baixa eficiência, estes painéis necessitam ser instalados em uma grande área para compensar a baixa efetividade. Além da menor eficiência, o tempo de vida útil deste tipo de painel também é menor que os painéis monocristalinos e policirstalinos, está entre 10 a 15 anos. Para compensar este fato eles possuem um menor preço de produção e um desempenho aceitável quando não há 100% de incidência de luz solar. (SOLARVOLT, 2016).

Basicamente os 3 modelos de células fotovoltaicas são esses, sendo que a última (silício amorfo) derivam os tipos de filmes finos que exigem grande quantidade de área para instalação além de uma maior manutenção com relação aos outros modelos. Urbanetz (2015) faz uma comparação referente as diferentes tecnologias de células fotovoltaicas para gerar 1 kWp, como mostra a figura 12.

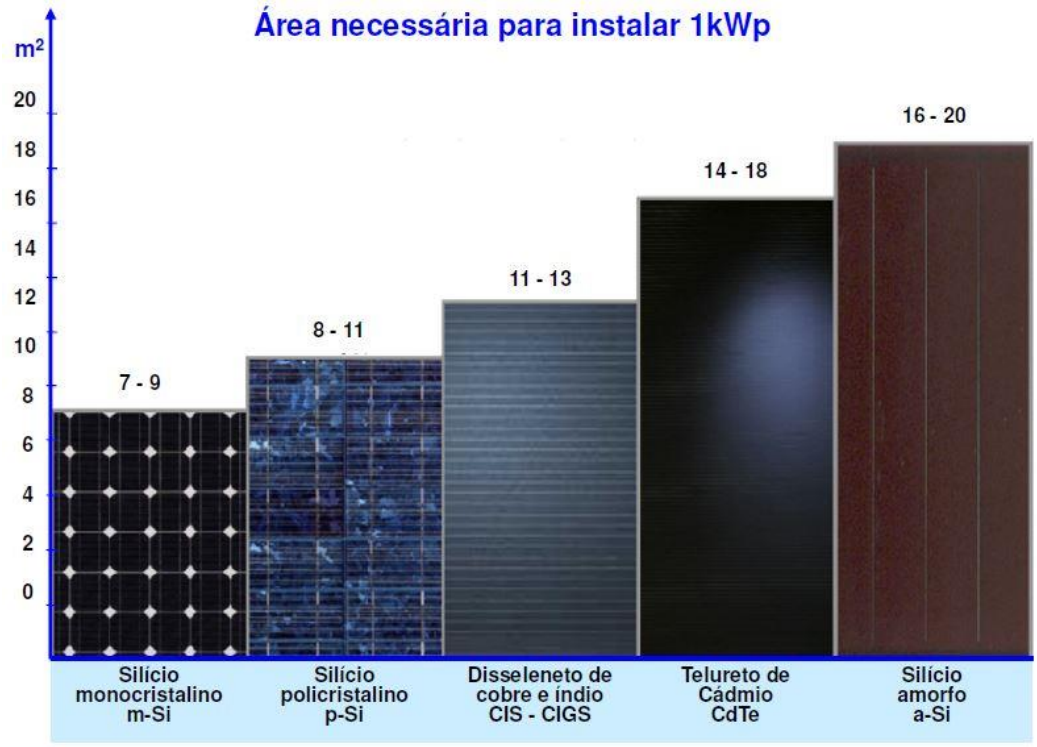


Figura 12 - Área necessária para gerar 1kWp
Fonte: URBANETZ, (2015).

2.2.4. Módulos fotovoltaicos

Benedito (2009), explica que como uma célula típica produz menos que 3 Wp, numa tensão de aproximadamente 0,5 V, dessa forma, as células precisam ser conectadas em configurações série-paralelo, a fim de se atingir as potências necessárias às diferentes aplicações.

Um conjunto de células interconectadas é chamado de módulo, o qual pode fornecer de dezenas a centenas de Wp. (BENEDITO, 2009). A figura 13 apresenta desde as células FV até os arranjos.

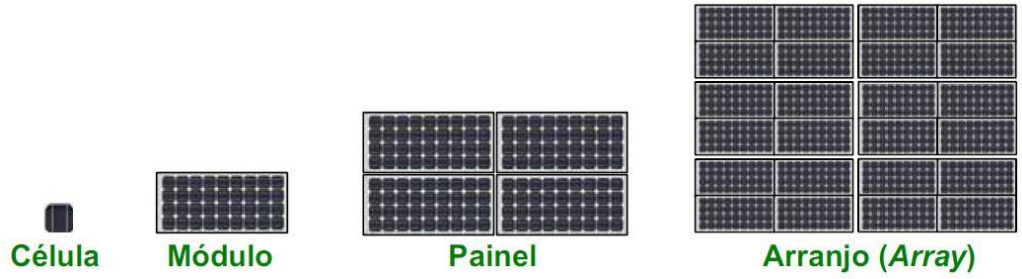


Figura 13 - Arranjo das células FV para gerar um arranjo final
Fonte: VIANA, (2014).

A durabilidade das células e do módulo está associada ao encapsulamento, pois não há desgaste das partes ativas no ambiente terrestre. (VIANA, 2014). A estrutura do módulo FV é representada na figura 14.

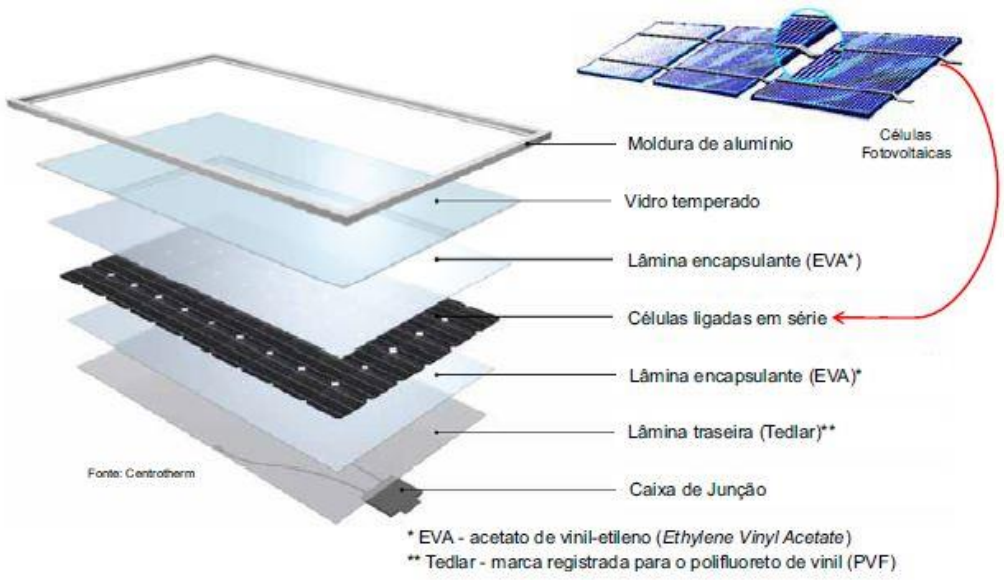


Figura 14 - Estrutura módulo fotovoltaico
Fonte: VIANA, (2014).

A parte mais importante dos módulos fotovoltaicos são as células que são responsáveis pela conversão da radiação solar em energia elétrica os outros componentes que compõem o módulo (exceto a caixa de junção) são responsáveis por proteger e firmar o conjunto.

A partir da caixa de junção elétrica deixando dois cabos, um positivo e outro negativo é o local onde ocorre a continuidade no circuito elétrico. (ENERGIA SOLAR, 2015).

2.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

> A Geração Distribuída (GD) é definida como o uso integrado ou isolado de recursos modulares de pequeno porte por concessionárias, consumidores e terceiros em aplicações que beneficiam o sistema elétrico e/ou consumidores específicos. (INEE, 2016)

Geração Distribuída é a geração e armazenamento de energia elétrica em pequena escala, mais próximo ao centro de carga, com

opção de interagir, ou seja, gerar créditos que podem ser abatidos da fatura de energia elétrica a partir da exportação da energia gerada excedente para a rede elétrica, considerando a melhor forma de obter a máxima eficiência energética. (OLADE, 2011).

Como a unidade de geração está próxima à carga, a Geração Distribuída possibilita a diminuição das perdas associadas ao transporte de energia elétrica. Outra vantagem, segundo Olade (2011), é que a GD permite abranger uma maior diversidade dos meios de gerar a energia, contribuindo para o aumento da variedade de meios de se gerar energia elétrica, possibilitando diferentes escolhas dependendo da disponibilidade de recursos energéticos no local desejado e garantindo uma maior segurança.

2.3.1. Resoluções da ANEEL

2.3.1.1. Resolução Normativa nº 482/2012

A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 define o Sistema de Compensação como:

> Sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;

Este sistema permite que a energia gerada não utilizada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente. Quando a energia injetada na rede for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou na fatura dos meses subsequentes.

O custo desses geradores e eventuais financiamentos não são estabelecidos pela ANEEL, sendo assim a iniciativa de se ter um sistema de compensação partirá do cliente. Cada cliente deverá fazer uma análise de custo/ benefício para verificar a entrada no processo junto à concessionária de energia, e que algumas situações

deverão ser analisadas conforme as características do cliente ou a partir da decisão do cliente. (site ANEEL, 2016).

2.3.1.2. Resolução Normativa nº 687/2015

A Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 é uma revisão da Resolução nº482/2012, e está em vigor desde março/2016. Nela ocorreram algumas mudanças importantes que trouxeram vantagens para o consumidor.

O objetivo de reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração foi atingido com esta nova Resolução. Com ela o tempo de espera para a conexão à rede foi diminuído, já que anteriormente as distribuidoras de energia tinham um prazo de cerca de 82 dias para realizar a conexão, agora possuem um prazo de 34 dias. Desta forma, há uma otimização da instalação e agilidade para início de uso. (site SOLAR ENERGY, 2016)

Segundo o site NEOSOLAR (2016) outra mudança é o autoconsumo remoto, que permitirá que um gerador utilize créditos em outra unidade consumidora, ou seja, um cliente residencial pode produzir a energia em sua casa de praia e utilizar os créditos em seu apartamento.

Outro ponto que também merece destaque é a geração compartilhada, que possibilitará que diversos interessados se unam em consorcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução de suas faturas. (site NEOSOLAR,2016).

2.3.2. Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) são uma aplicação da tecnologia solar fotovoltaica, na qual o arranjo fotovoltaico atua como fonte complementar ao sistema elétrico ao qual está conectado.

As principais vantagens desse tipo de sistema são: a elevada produtividade (toda a energia disponibilizada pelos módulos é utilizada) e a ausência do conjunto de baterias, que possui baixa vida útil quando comparada a dos módulos fotovoltaicos e inversores.

Os SFVCR são compostos por um painel fotovoltaico e um inversor de frequência. Não são utilizados elementos que armazenam a energia elétrica, já que a rede elétrica da concessionária é vista como o elemento armazenador, pois toda a energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede. Outra característica desse sistema é que na ausência de energia, o sistema é desligado pelo inversor, evitando que seja formado um subsistema isolado. (URBANETZ, 2010)

De acordo com Urbanetz (2010), nos países desenvolvidos há políticas públicas que permitem e incentivam a implantação deste tipo de instalação, desde sistemas de pequeno porte até grandes “fazendas solares”. No Brasil a situação é bem diferente, pois ainda são poucos os Sistemas fotovoltaicos conectados à rede, e a boa parte deles estão instalados em universidades e centros de pesquisa, poucos são os casos de instalações voltadas para a geração efetiva de energia.

3. ESTUDO DO CASO

3.1. COLETA DE DADOS

Para esta etapa foram necessários:

- Dados de irradiação solar e potencial fotovoltaico de Curitiba;
- Área total de cobertura;
- Percentual de orientação e inclinação dos painéis fotovoltaicos, para condições favoráveis ao máximo aproveitamento da energia a ser gerada;
- Painel escolhido;
- Outros Equipamentos utilizados.

3.2. DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR E POTENCIAL FOTOVOLTAICO DE CURITIBA

Para a realização do estudo de viabilidade em plantas que utilizam fonte solar fotovoltaica, é necessário verificar o potencial de irradiação no local onde será implantado o painel. Logo, será utilizado o banco de dados de irradiação do SWERA (*Solar and Wind Energy Resources Assessment)* que em parceria com várias organizações internacionais possibilita a análise de irradiação solar em várias regiões tanto no Brasil quanto no exterior.

Os dados que são disponibilizados para essa plataforma do SWERA são retirados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Foram selecionados 3 locais para a coleta dos dados de irradiação, um no centro da cidade (figura 15), outro no ponto mais ao norte da cidade (figura 16) e um último mais ao sul (figura 17). Os dados de irradiação obtidos nesse banco de dados serão utilizados no capitulo 4.

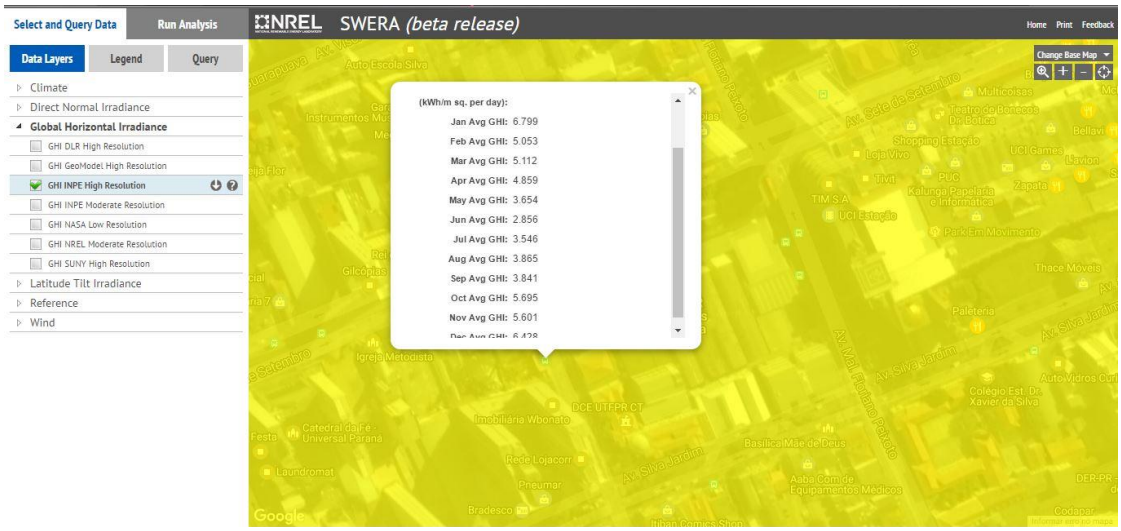


Figura 15 - Ponto no centro da cidade 25°26'22.4"S 49°16'11.2"W
Fonte: SWERA, (2016).

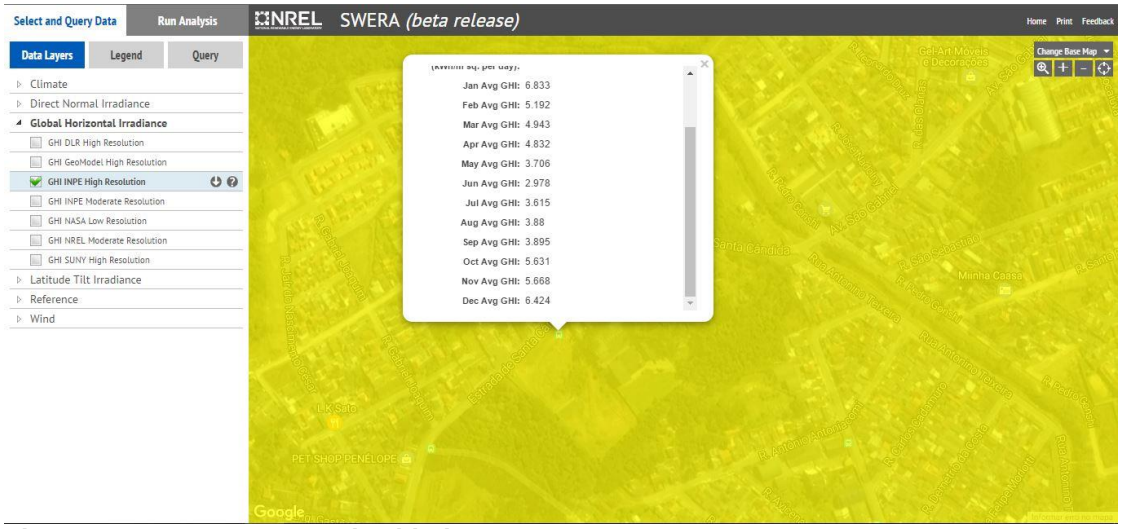


Figura 16 - Ponto ao norte da cidade 25°21'53.7"S 49°12'51.2"W
Fonte: SWERA, (2016).

Figura 17 - Ponto ao sul da cidade 25°34'11.6"S 49°16'55.7"W
Fonte: SWERA, (2016).

Com os dados obtidos pelas figuras é possível calcular a irradiação mensal em cada um dos pontos bem como sua média anual.

3.3. DIMENSÕES DA COBERTURA

As dimensões dos pontos de ônibus podem ser visualizadas na figura 18.

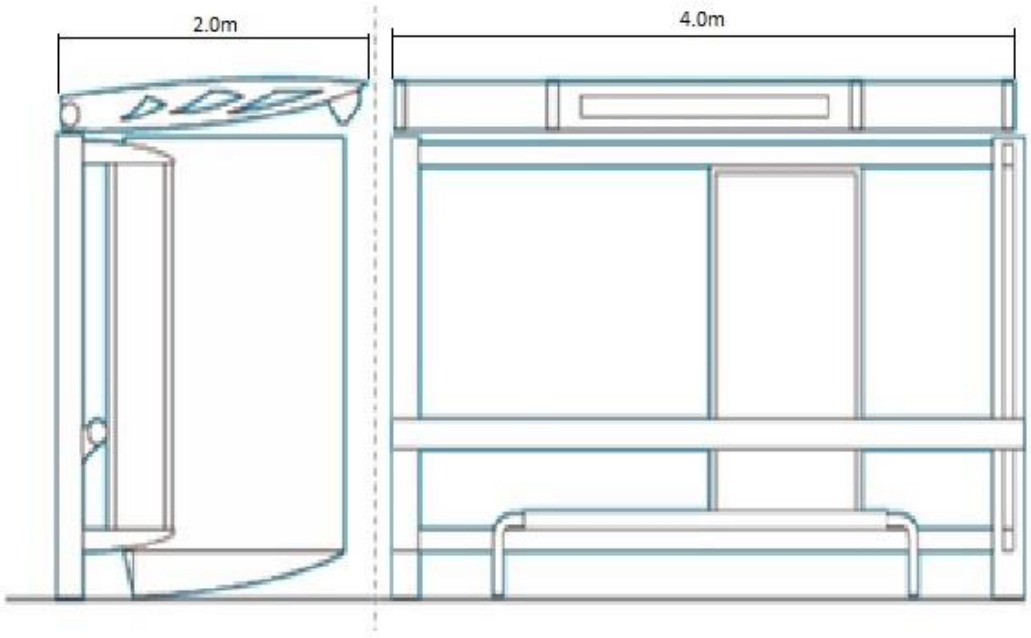


Figura 18 - Dimensões dos pontos de ônibus
Fonte: URBS, adaptado (2016).

Através desses dados é possível calcular a área disponível para colocar os painéis fotovoltaicos:

$$Área_{disponível} = comprimento\ x\ largura$$

$$Área_{disponível} = 2{,}0\ x\ 4{,}0$$

$$Área_{disponível} = 8{,}0\ m^2$$

3.4. INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO

Consideraram-se as coberturas com inclinações ideais, ou seja, inclinadas de acordo com a latitude local (25º em Curitiba) e orientação para o norte verdadeiro, com desvio azimutal zero. Para esta situação, utilizaram-se dados de irradiação solar baseados nas Figura 15, 16 e 17 que já representa o valor de acordo com a latitude local e orientação para o norte verdadeiro e desvio azimutal zero.

Por se tratar de um estudo preliminar, os 3600 pontos foram divididos em três grupos:

- 1200 pontos de ônibus ficam expostos ao sol o dia todo, logo o potencial de irradiação foi considerado de 100%.
- 1200 pontos de ônibus ficam expostos ao sol em pelo menos metade do dia, logo o potencial de irradiação foi considerado de 75%.
- 1200 pontos de ônibus quase não recebem sol durante o dia, logo o potencial de irradiação foi considerado de 50%.

3.5. EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

- Painéis Fotovoltaicos;
- Inversores;
- Suporte para fixação dos módulos em teto (perfis em alumínio reforçado e grampos para prender os módulos);
- Material elétrico necessário para instalação do sistema (Cabos até 30 metros de distância dos módulos até os inversores. Cabos até 20 metros de distância dos inversores até o relógio medidor, DPS, Disjuntores CA e CC, Chave Seccionadora CC, Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV), Conectores, eletrodutos, parafusos, miscelâneas de instalação);

Além desses equipamentos, segundo a NTC905200 – Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da COPEL, também é necessário enviar alguns documentos para a COPEL, são eles:

- Solicitação de acesso - é o requerimento formulado pelo acessante que, uma vez entregue à Copel, implica a prioridade de atendimento, de acordo com a ordem cronológica de protocolo. Pode ser para Microgeração Distribuída com potência igual ou inferior a 10 kW (ANEXO I), ou para Microgeração Distribuída com potência superior a 10 kW (ANEXO II);
- Licença Ambiental Simplificada.

3.5.1. Painel Fotovoltaico

Neste estudo foram escolhidos painéis fotovoltaicos policristalinos que, apesar de possuírem uma eficiência um pouco menor que os monocristalinos, possuem um custo de produção menor e possuem alta durabilidade (mais de 30 anos), se bem conservados.

Os painéis fotovoltaicos escolhidos são da marca *Canadian Solar*, possuem potência de 265 Wp e possuem dimensões conforme a figura 19.

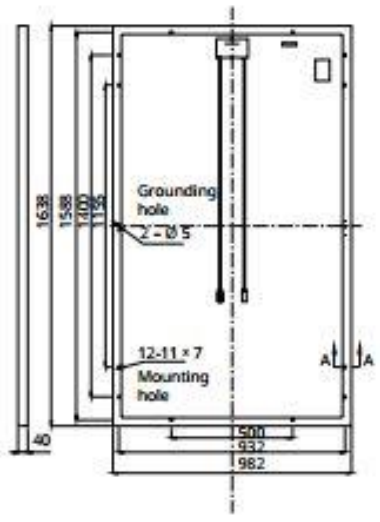


Figura 19 - Dimensões do painel
Fonte: Canadian Solar, (2017).

Como cada painel possui 1638x982 mm, é possível colocar 4 painéis em cada ponto de ônibus.

3.5.2. Inversores

A figura 20 representa um inversor, que é um componente do sistema de geração que converte em corrente alternada (compatível com a rede elétrica) a energia produzida em corrente contínua pelas unidades geradoras, sendo geralmente utilizado em sistemas de geração cuja fonte é solar ou eólica. O inversor deverá estar homologado junto a Copel e atender normas NBR vigentes. (HOBMEIR, 2015).

Figura 20 - Inversor fotovoltaico
Fonte: WEG, (2016).

4. RESULTADOS

4.1. CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE DO CONJUNTO DE PAINÉIS DE CADA PONTO DE ÔNIBUS

4.1.1. Cálculo da Potência Instalada em Cada Ponto de Ônibus

O primeiro passo necessário para realizar o cálculo da produtividade de cada sistema instalado nos pontos de ônibus é calcular a potência total desse sistema. Para isso basta multiplicar a potência de um painel por quatro, que será o número de painéis em cada ponto de ônibus. Conforme tabela 1:

Tabela 1 - Potência instalada em cada ponto de ônibus

N° de Painéis	Potência do Painel [kWp]	Potência do Sistema [kWp]
4	0,265	1,06

Fonte: Autoria própria.

4.1.2. Cálculo da Irradiação Mensal em Cada Ponto de Ônibus

Como os 3600 pontos de ônibus de Curitiba não recebem a mesma quantidade de sol por dia, foi necessário dividir este total de pontos em três grupos, conforme descrito no item 3.4.

4.1.2.1. Cálculo da irradiação para os pontos de ônibus que são expostos ao sol o dia todo

Com base na Figura 15 é possível obter a irradiação média diária de cada mês para a parte central da cidade. E através desses dados é possível calcular a média de irradiação mensal, conforme a Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 - Irradiação média mensal para o ponto central da cidade

Meses	Dias	Média Diária [kWh/m² dia]	Média Mensal [kWh/m² mês]
Janeiro	31	6,799	210,769
Fevereiro	28	5,053	141,484
Março	31	5,112	158,472
Abril	30	4,859	145,770
Maio	31	3,654	113,274
Junho	30	2,856	85,680
Julho	31	3,546	109,926
Agosto	31	3,865	119,815
Setembro	30	3,841	115,230
Outubro	31	5,695	176,545
Novembro	30	5,601	168,030
Dezembro	31	6,428	199,268
Média Mensal			**145,355**

Fonte: Autoria própria.

O mesmo foi feito tendo como base a figura 16, sendo possível calcular a média mensal para os pontos mais ao norte da cidade. Conforme a tabela 3:

Tabela 3 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao norte da cidade

Meses	Dias	Média Diária [kWh/m² dia]	Média Mensal [kWh/m² mês]
Janeiro	31	6,833	211,823
Fevereiro	28	5,192	145,376
Março	31	4,943	153,233
Abril	30	4,832	144,960
Maio	31	3,706	114,886
Junho	30	2,978	89,340
Julho	31	3,615	112,065
Agosto	31	3,88	120,280
Setembro	30	3,895	116,850
Outubro	31	5,631	174,561
Novembro	30	5,668	170,040
Dezembro	31	6,424	199,144
Média Mensal			**146,047**

Fonte: Autoria própria.

Por último, conforme tabela 4, foi realizado o mesmo cálculo, agora para o ponto mais ao sul da cidade e utilizando como base a figura 17.

Tabela 4 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao sul da cidade

Meses	Dias	Média Diária [kWh/m² dia]	Média Mensal [kWh/m² mês]
Janeiro	31	6,498	201,438
Fevereiro	28	5,078	142,184
Março	31	4,784	148,304
Abril	30	4,871	146,130
Maio	31	3,561	110,391
Junho	30	2,819	84,570
Julho	31	3,329	103,199
Agosto	31	3,912	121,272
Setembro	30	3,881	116,430
Outubro	31	5,622	174,282
Novembro	30	5,35	160,500
Dezembro	31	6,136	190,216
Média Mensal			**141,576**

Fonte: Autoria própria.

4.1.2.2. Cálculo da irradiação para os pontos de ônibus que são expostos ao sol em pelo menos metade do dia

Considerando um caso onde a irradiação que incide sobre os painéis possua algumas condições nas quais não possibilitem receber a irradiação total (inclinação não voltada para o norte geográfico, sombreamento parcial entre outros) foi considerado um fator de 75% sobre a irradiação em cada um dos casos. Primeiramente para os pontos centrais da cidade, conforme tabela 5.

Tabela 5 - Irradiação média mensal para o ponto central da cidade com 75% de irradiação

Meses	Dias	Média Diária [kWh/m² dia]	Média Mensal [kWh/m² mês]
Janeiro	31	5,0993	158,077
Fevereiro	28	3,7898	106,113
Março	31	3,8340	118,854
Abril	30	3,6443	109,328
Maio	31	2,7405	84,956
Junho	30	2,1420	64,260

Julho	31	2,6595	82,445
Agosto	31	2,8988	89,861
Setembro	30	2,8808	86,423
Outubro	31	4,2713	132,409
Novembro	30	4,2008	126,023
Dezembro	31	4,8210	149,451
Média Mensal			**109,016**

Fonte: Autoria própria.

A tabela 6 apresenta os dados de irradiação do ponto mais ao norte da cidade.

Tabela 6 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao norte da cidade com 75% de irradiação

Meses	Dias	Média Diária [kWh/m² dia]	Média Mensal [kWh/m² mês]
Janeiro	31	5,1248	158,867
Fevereiro	28	3,8940	109,032
Março	31	3,7073	114,925
Abril	30	3,6240	108,720
Maio	31	2,7795	86,165
Junho	30	2,2335	67,005
Julho	31	2,7113	84,049
Agosto	31	2,9100	90,210
Setembro	30	2,9213	87,638
Outubro	31	4,2233	130,921
Novembro	30	4,2510	127,530
Dezembro	31	4,8180	149,358
Média Mensal			**109,535**

Fonte: Autoria própria.

E por fim a tabela 7 apresenta os dados de irradiação do ponto mais ao sul da cidade.

Tabela 7 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao sul da cidade com 75% de irradiação

Meses	Dias	Média Diária [kWh/m² dia]	Média Mensal [kWh/m² mês]
Janeiro	31	4,8735	151,079
Fevereiro	28	3,8085	106,638
Março	31	3,5880	111,228
Abril	30	3,6533	109,598
Maio	31	2,6708	82,793
Junho	30	2,1143	63,428

Julho	31	2,4968	77,399
Agosto	31	2,9340	90,954
Setembro	30	2,9108	87,323
Outubro	31	4,2165	130,712
Novembro	30	4,0125	120,375
Dezembro	31	4,6020	142,662
Média Mensal			**106,182**

Fonte: Autoria própria.

4.1.2.3. Cálculo da irradiação para os pontos de ônibus que quase não recebem sol durante o dia

Neste novo cenário, foi considerando um fator de 50% sobre a irradiação onde as condições de instalação sejam menos favoráveis (principalmente um maior nível de sombreamento ao longo do dia). Iniciando pelos pontos que estão localizados no centro da cidade, conforme tabela 8:

Tabela 8 - Irradiação média mensal para o ponto central da cidade com 50% de irradiação

Meses	Dias	Média Diária [kWh/m² dia]	Média Mensal [kWh/m² mês]
Janeiro	31	3,3995	105,385
Fevereiro	28	2,5265	70,742
Março	31	2,5560	79,236
Abril	30	2,4295	72,885
Maio	31	1,8270	56,637
Junho	30	1,4280	42,840
Julho	31	1,7730	54,963
Agosto	31	1,9325	59,908
Setembro	30	1,9205	57,615
Outubro	31	2,8475	88,273
Novembro	30	2,8005	84,015
Dezembro	31	3,2140	99,634
Média Mensal			**72,678**

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 9 apresenta os dados referentes ao norte da cidade.

Tabela 9 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao norte da cidade com 50% de irradiação

Meses	Dias	Média Diária [kWh/m² dia]	Média Mensal [kWh/m² mês]
Janeiro	31	3,4165	105,912
Fevereiro	28	2,5960	72,688
Março	31	2,4715	76,617
Abril	30	2,4160	72,480
Maio	31	1,8530	57,443
Junho	30	1,4890	44,670
Julho	31	1,8075	56,033
Agosto	31	1,9400	60,140
Setembro	30	1,9475	58,425
Outubro	31	2,8155	87,281
Novembro	30	2,8340	85,020
Dezembro	31	3,2120	99,572
Média Mensal			**73,023**

Fonte: Autoria própria.

Por fim, a Tabela 10 apresenta os dados referentes ao sul da cidade.

Tabela 10 - Irradiação média mensal para o ponto mais ao sul da cidade com 50% de irradiação

Meses	Dias	Média Diária [kWh/m² dia]	Média Mensal [kWh/m² mês]
Janeiro	31	3,2490	100,719
Fevereiro	28	2,5390	71,092
Março	31	2,3920	74,152
Abril	30	2,4355	73,065
Maio	31	1,7805	55,196
Junho	30	1,4095	42,285
Julho	31	1,6645	51,600
Agosto	31	1,9560	60,636
Setembro	30	1,9405	58,215
Outubro	31	2,8110	87,141
Novembro	30	2,6750	80,250
Dezembro	31	3,0680	95,108
Média Mensal			**70,788**

Fonte: Autoria própria.

4.1.3. Cálculo da Produtividade Anual de Cada Ponto de Ônibus

Para realizar o cálculo da geração de energia elétrica de cada ponto de ônibus é necessário utilizar a seguinte equação:

$$E = P_{sistema} * PR * I$$

Onde:

E – Energia gerada no mês (kWh/mês);

P – Potência do sistema fotovoltaico a ser instalado, encontrado no item 4.1.1;

PR – Desempenho do sistema, considerado 75%;

I – Irradiação disponível na unidade consumidora, encontrado no item 4.1.2.

Para calcular a produtividade basta somar a energia gerada nos doze meses.

4.1.3.1. Cálculo da produtividade para os pontos de ônibus que são expostos ao sol o dia todo

Os resultados obtidos para os pontos centrais e que recebem sol o dia todo se encontram na tabela 11:

Tabela 11 – Produtividade dos pontos centrais da cidade com 100% de irradiação

Meses	Geração [kWh/mês]
Janeiro	167,561
Fevereiro	112,480
Março	125,985
Abril	115,887
Maio	90,053
Junho	68,116
Julho	87,391
Agosto	95,253
Setembro	91,608
Outubro	140,353
Novembro	133,584
Dezembro	158,418
Média Mensal	115,557
PRODUTIVIDADE	**1386,7**

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos no cálculo da produtividade para os pontos mais ao norte da cidade e que recebem sol durante todo o dia encontram-se na tabela 12:

Tabela 12 - Produtividade dos pontos mais ao norte da cidade com 100% de irradiação

Meses	Geração [kWh/mês]
Janeiro	168,399
Fevereiro	115,574
Março	121,820
Abril	115,243
Maio	91,334
Junho	71,025
Julho	89,092
Agosto	95,623
Setembro	92,896
Outubro	138,776
Novembro	135,182
Dezembro	158,319
Média Mensal	116,107
PRODUTIVIDADE	**1393,284**

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos no cálculo da produtividade para os pontos mais ao sul da cidade e que recebem sol durante todo o dia encontram-se na tabela 13:

Tabela 13 - Produtividade anual dos pontos mais ao sul da cidade com 100% de irradiação

Meses	Geração [kWh/mês]
Janeiro	160,14321
Fevereiro	113,03628
Março	117,90168
Abril	116,17335
Maio	87,760845
Junho	67,23315
Julho	82,043205
Agosto	96,41124
Setembro	92,56185
Outubro	138,55419
Novembro	127,5975
Dezembro	151,22172

Média Mensal	112,553185
PRODUTIVIDADE	**1350,638**

Fonte: Autoria própria.

Para realizar o cálculo do tempo de amortização dos gastos com a implantação deste sistema foi utilizada a média entre os três valores de produtividade encontrados, conforme Tabela 14:

Tabela 14 - Produtividade média dos pontos com 100% de irradiação

	Produtividade [kWh/ano]
Sul	1350,638
Central	1386,689
Norte	1393,284
MÉDIA	1376,870

Fonte: Autoria própria.

Para calcular a produtividade total para este primeiro grupo de pontos basta multiplicar a produtividade média encontrada pelos 1200 pontos.

$$Produtividade\ total = 1376{,}87 * 1200$$
$$Produtividade\ total = 1{,}652 GWh/ano$$

4.1.3.2. Cálculo da produtividade para os pontos de ônibus que são expostos ao sol em pelo menos metade do dia

O resultado obtido da produtividade para os pontos de ônibus centrais e que possuem incidência de 75% da irradiação estão na tabela 15:

Tabela 15 - Produtividade dos pontos centrais da cidade com 75% de irradiação

Meses	Geração [kWh/mês]
Janeiro	125,671
Fevereiro	84,360
Março	94,489
Abril	86,915
Maio	67,540
Junho	51,087

Julho	65,543
Agosto	71,440
Setembro	68,706
Outubro	105,265
Novembro	100,188
Dezembro	118,814
Média Mensal	86,668
PRODUTIVIDADE	**1040,017**

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos no cálculo da produtividade para os pontos mais ao norte da cidade e que recebem sol durante pelo menos metade do dia encontram-se na tabela 16:

Tabela 16 - Produtividade dos pontos ao norte da cidade com 75% de irradiação

Meses	Geração [kWh/mês]
Janeiro	126,299
Fevereiro	86,680
Março	91,365
Abril	86,432
Maio	68,501
Junho	53,269
Julho	66,819
Agosto	71,717
Setembro	69,672
Outubro	104,082
Novembro	101,386
Dezembro	118,740
Média Mensal	87,080
PRODUTIVIDADE	**1044,963**

Fonte: Autoria própria.

O mesmo cálculo foi feito para os pontos da cidade que estão ao sul e os resultados encontram-se na tabela 17.

Tabela 17 - Produtividade dos pontos ao sul da cidade com 75% de irradiação

Meses	Geração [kWh/mês]
Janeiro	120,107
Fevereiro	84,777
Março	88,426
Abril	87,130
Maio	65,821
Junho	50,425

Julho	61,532
Agosto	72,308
Setembro	69,421
Outubro	103,916
Novembro	95,698
Dezembro	113,416
Média Mensal	84,415
PRODUTIVIDADE	**1012,979**

Fonte: Autoria própria.

A média da produtividade nos três pontos da cidade encontra-se na tabela 18:

Tabela 18 – Produtividade média dos pontos com 75% de irradiação

	Produtividade [kWh/ano]
Sul	1012,979
Central	1040,017
Norte	1044,963
MÉDIA	**1032,653**

Fonte: Autoria própria.

A produtividade total do grupo de pontos que possuem incidência de 75% da irradiação é dada por:

$$Produtividade\ total = 1032{,}653 * 1200$$
$$Produtividade\ total = 1{,}239 GWh/ano$$

4.1.3.3. Cálculo da produtividade para os pontos de ônibus que quase não recebem sol durante o dia

O resultado obtido da produtividade para os pontos de ônibus centrais e que possuem incidência de 50% da irradiação estão na tabela 19:

Tabela 19 - Produtividade dos pontos centrais da cidade com 50% de irradiação

Meses	**Geração [kWh/mês]**
Janeiro	83,781
Fevereiro	56,240
Março	62,993
Abril	57,944
Maio	45,026

Junho	34,058
Julho	43,696
Agosto	47,626
Setembro	45,804
Outubro	70,177
Novembro	66,792
Dezembro	79,209
Média Mensal	57,779
PRODUTIVIDADE	**693,345**

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos no cálculo da produtividade para os pontos mais ao norte da cidade e que recebem pouco sol durante o dia se encontram na tabela 20:

Tabela 20 - Produtividade dos pontos ao norte da cidade com 50% de irradiação

Meses	Geração [kWh/mês]
Janeiro	84,19964
Fevereiro	57,78696
Março	60,91012
Abril	57,6216
Maio	45,66719
Junho	35,51265
Julho	44,54584
Agosto	47,8113
Setembro	46,44788
Outubro	69,388
Novembro	67,5909
Dezembro	79,15974
Média Mensal	58,05348
PRODUTIVIDADE	**696,6418**

Fonte: Autoria própria.

O mesmo cálculo foi feito para os pontos da cidade que estão ao sul.

Tabela 21 - Produtividade dos pontos ao sul da cidade com 50% de irradiação

Meses	Geração [kWh/mês]
Janeiro	80,071605
Fevereiro	56,51814
Março	58,95084
Abril	58,086675
Maio	43,880423

Junho	33,616575
Julho	41,021603
Agosto	48,20562
Setembro	46,280925
Outubro	69,277095
Novembro	63,79875
Dezembro	75,61086
Média Mensal	56,276593
PRODUTIVIDADE	**675,319**

Fonte: Autoria própria.

Na tabela 22, encontra-se a produtividade média dos pontos que possuem 50% da radiação incidente.

Tabela 22 - Produtividade média dos pontos com 50% de irradiação

	Produtividade [kWh/ano]
Sul	675,319
Central	693,345
Norte	696,642
MÉDIA	**688,435**

Fonte: Autoria própria.

Para calcular a produtividade total para este grupo de pontos basta multiplicar a produtividade média encontrada pelos 1200 pontos.

$$Produtividade\ total = 688{,}435 * 1200$$
$$Produtividade\ total = 826{,}122 MWh/ano$$

4.2. CÁLCULO DO PAYBACK DO CONJUNTO DE PAINÉIS

Para o cálculo do *payback* foram necessárias as seguintes informações:

- Projeto – valor do projeto para a implantação dos 4 painéis conectados à rede contemplando todos os documentos necessários para dar entrada na concessionária (memorial de cálculos, diagrama unifilar, *datasheets* dos equipamentos, etc). Por se tratar de um projeto tipo onde todos os outros pontos vão estar conectados da mesma forma, as

informações utilizadas são as mesmas, dessa forma foi definido um valor de R$250,00 para cada ponto.

- Material – valor do material que será utilizado para a instalação em um ponto. Foi realizado um orçamento com uma empresa que vende esses *kits* fotovoltaicos, os valores se apresentam na Figura 21.
- Instalação – valor para a instalação de cada um desses *kits*. Esse valor varia de acordo com a região e a complexidade de instalação do sistema fotovoltaico. Por se tratar de uma capital e a complexidade de instalação baixa (poucos painéis conectados e instalação a uma altura superior a 2,0 metros) o custo de instalação varia entre R$200,00 a R$400,00 reais por painel, logo, foi considerado um custo de R$300,00.

✓ **Sistema FV 1,04kWp –INVERSOR B&B POWER 1600**

item	COD.	PRODUTO	QTY	PREÇO UNITARIO COM PIS-COFINS	VALOR DA NOTA FISCAL
1	CS6P265P	CANADIAN SOLAR 60CELLS 265W P-SI - 1º lote AGOSTO 2016	4	R$ 779,28	R$3.117,12
2	SF1600TL	B&B Power ON GRID SOLAR INVERTER SF1600TL	1	R$ 3.156,83	R$ 3.156,83
3	499485 STRINGBO	STRING BOX ONESTO - 1/2 CORDA 1 SAIDA NO FUSIVES DC	1	R$ 663,52	R$ 663,52
4	K2010019294MT	K2 System_PERFIL ALUMINIO ULTRALIGHT 4,07MT	2	R$ 93,34	R$ 186,68
5	K2010019292MT	K2 System_PERFIL ALUMINIO ULTRALIGHT 2,03MT	2	R$ 58,20	R$ 116,41
6	K201004107	K2 System_JUNÇÃO PARA PERFIL EM ALKUMINIO K2	2	R$ 17,96	R$ 35,92
7			8	R$ 0,00	R$ 0,00
8	K21005170	K2 System_TERMINAL FINAL 39..41MM for CAN	4	R$ 9,01	R$ 36,06
9	K22001586	K2 System_TERMINAL INTERMEDIARIO 39..44MM for CAN/AVP	10	R$ 8,57	R$ 85,73
10	K2P1000041	K2 System_PARAFUSO CABECA MARTELO M10 28/15	8	R$ 2,36	R$ 18,87
11	K2P1000042	K2 System_PORCA M10 INOX A2	8	R$ 0,93	R$ 7,40
12	CABOGM26434	CABO SOLAR 6MM<1000V_PRETO_NXS_PRY_BAL	30	R$ 4,74	R$ 142,15
13	CABOGM54203	CABO SOLAR 6MM<1000V_VERMELHO_NXS_PRY_BAL	30	R$ 4,74	R$ 142,15
14	C1344960000	CONECTORES FEMEA/MACHO WEID_CABUR_MC4_ou compativel	2	R$ 23,54	R$ 47,07
			114		R$ 7.755,91

SICES BRASIL LTDA
Avenida Portugal, 1174 - Condomínio Empresarial ONIX, galpão 1,2,3 e 4
Itaqui, ITAPEVI - SP - 06696-060 - Brasil
T 0055 (11) 4193-2008
www.sicesbrasil.com.br - contato@sicesbrasil.com.br
CNPJ 17.774.501/0001-28

Figura 21 - Orçamento kit fotovoltaico 1,06 kWp
Fonte: Sices Brasil LTDA, (2017)

Com esses dados é possível definir o valor do investimento para um ponto, conforme tabela 23:

Tabela 23 - Investimento para um ponto

Descrição	Valor (R$)
Projeto	250,00
Material	7.755,93
Instalação	1.200,00
INVESTIMENTO PARA UM PONTO	**9.205,93**

Fonte: Autoria própria.

Esse valor é o investimento inicial para a implantação do sistema fotovoltaico de 4 painéis em um ponto.

Após esse sistema ser implantado existem outros fatores que devem ser levados em consideração, sendo eles:

- Perda de Produtividade – segundo a Lux Energy (2017, p. 64) “Durante o tempo de vida do gerador fotovoltaico, o sistema estará exposto ao tempo, e consequentemente suscetível às mais variadas condições” logo essas condições poderão degradar os painéis fotovoltaicos e consequentemente reduzir a sua produtividade ao longo dos anos. A SolarVolt (2015) afirma que atualmente os painéis são mais robustos e os fabricantes garantem uma potência d “A perda de eficiência deles é muito pequena: os fabricantes garantem 90% da potência até o décimo segundo ano e 80% em 25 anos”. Dessa forma, consideramos um fator de perda de produtividade do painel de 0,65% ao ano.
- Reajuste Tarifário – foi analisado o reajuste tarifário pela concessionária de energia local (COPEL) durante seus últimos 10 anos para verificar um padrão de aumento da energia ao longo dos anos. Esta análise se encontra na tabela 24:

Tabela 24 - Média de reajuste tarifário COPEL 2006 até 2016

Ano	Reajuste (%)
2006	3,30
2007	-1,27
2008	0,04
2009	5,00
2010	2,46

2011	2,99
2012	-0,65
2013	-19,28
2013	9,55
2014	24,86
2015	36,79
2015	15,32
2016	-12,87
Média	6,624

Fonte: COPEL, adaptado (2017).

- Operação e manutenção – a manutenção de um sistema fotovoltaico é basicamente a limpeza da superfície dos painéis para retirar a sujeira que possivelmente irá se acumular sobre o sistema. Segundo o EPE (Empresa de Pesquisa Energética) seguindo a metodologia sugerida pela EPIA (*European Photovoltaic Industry Association*) o custo da operação e manutenção por ano é um por cento do custo do investimento.
- Inversor – os inversores para possuem uma vida útil menor do que a dos painéis fotovoltaicos, dessa forma, será necessário a troca dos inversores a cada 10 anos. Segundo a BrasEnergy (2017) “A vida útil dos inversores *strings* pode variar de 10 a 15 anos”.
- Tarifa atual do consumidor – por fim, é necessário saber a tarifa média que o consumidor está inserido. Logo foi atribuído que o consumidor atende está inserido na tarifa convencional, subgrupo B3, obedecendo a resolução ANEEL Nº 2.096, de 21 de junho de 2016, a tarifa é de R$0,42147 /kWh sem impostos e com ICMS e PIS/COFINS o valor da tarifa da concessionária para a ser R$0,64543 /kWh. (Ver ANEXO IV).

Com todas essas informações foi possível montar a tabela 25 e analisar cada um dos casos propostos.

Tabela 25 - Tabela de dados para o cálculo do *payback*

Descrição		Valor	
Projeto	R$	250,00	
Material	R$	7755,93	
Instalação	R$	1200,00	
INVESTIMENTO PARA 1 PONTO	**R$**	**9205,93**	
N° de Pontos		1200	pontos
INVESTIMENTO INICIAL TOTAL	**R$**	**11.047.116,00**	
Perda de Rendimento		0,65	%
Reajuste Tarifário		6,624	%
Manutenção	R$	110471,10	
Inversor	R$	3156,83	

Fonte: Autoria própria.

A questão do investimento para cada um dos casos obedecerá a Tabela 25.

4.2.1. *Payback* para os 1200 Pontos que São Expostos ao Sol o Dia Todo

No item 4.1.3 foi obtido os valores de produtividade total para cada um dos casos, esse valor foi multiplicado pelo valor da tarifa, obtendo assim um custo de geração.

O custo evitado foi obtido através do custo de geração do grupo gerador de painéis menos o custo de manutenção e limpeza.

A amortização é o valor investido menos o custo evitado.

Todos estes cálculos se encontram na tabela 26. Nela as linhas em verde são os momentos em que o *payback* passa a ser positivo e as linhas em amarelo, são os momentos em que ocorre a troca dos inversores de frequência (a cada 10 anos).

Tabela 26 - *Payback* para o caso 1

Ano	Produtividade (kWh/ano)	Tarifa (R$/kWh)	Limpeza e Operação (R$)	Custo Evitado (R$/mil)	Amortização (R$/mil)	*Payback* (R$/mil)
1	1652244,366	0,64543	110.471,10	955,94	10091,18	-10091,18
2	1641504,778	0,68818	110.471,10	1019,19	9071,99	-9071,99
3	1630834,997	0,73377	110.471,10	1086,18	7985,81	-7985,81

4	1620234,569	0,78237	110.471,10	1157,16	6828,65	-6828,65
5	1609703,044	0,83420	110.471,10	1232,34	5596,31	-5596,31
6	1599239,975	0,88946	110.471,10	1311,98	4284,33	-4284,33
7	1588844,915	0,94837	110.471,10	1396,35	2887,99	-2887,99
8	1578517,423	1,01119	110.471,10	1485,71	1402,27	-1402,27
9	1568257,06	1,07817	110.471,10	1580,38	-178,11	178,11
10	1558063,389	1,14959	110.471,10	-2107,53	1929,42	-1929,42
11	1547935,977	1,22574	110.471,10	1786,90	142,52	-142,52
12	1537874,393	1,30693	110.471,10	1899,43	-1756,91	1756,91
13	1527878,209	1,39351	110.471,10	2018,64	-3775,55	3775,55
14	1517947,001	1,48581	110.471,10	2144,91	-5920,46	5920,46
15	1508080,345	1,58423	110.471,10	2278,68	-8199,14	8199,14
16	1498277,823	1,68917	110.471,10	2420,38	-10619,51	10619,51
17	1488539,017	1,80106	110.471,10	2570,48	-13189,99	13189,99
18	1478863,514	1,92036	110.471,10	2729,49	-15919,48	15919,48
19	1469250,901	2,04757	110.471,10	2897,92	-18817,40	18817,40
20	1459700,77	2,18320	110.471,10	-711,85	-18105,55	18105,55
21	1450212,715	2,32782	110.471,10	3265,36	-21370,91	21370,91
22	1440786,332	2,48201	110.471,10	3465,58	-24836,49	24836,49
23	1431421,221	2,64642	110.471,10	3677,67	-28514,15	28514,15
24	1422116,983	2,82172	110.471,10	3902,34	-32416,49	32416,49
25	1412873,223	3,00863	110.471,10	4140,34	-36556,83	36556,83

Fonte: Autoria própria.

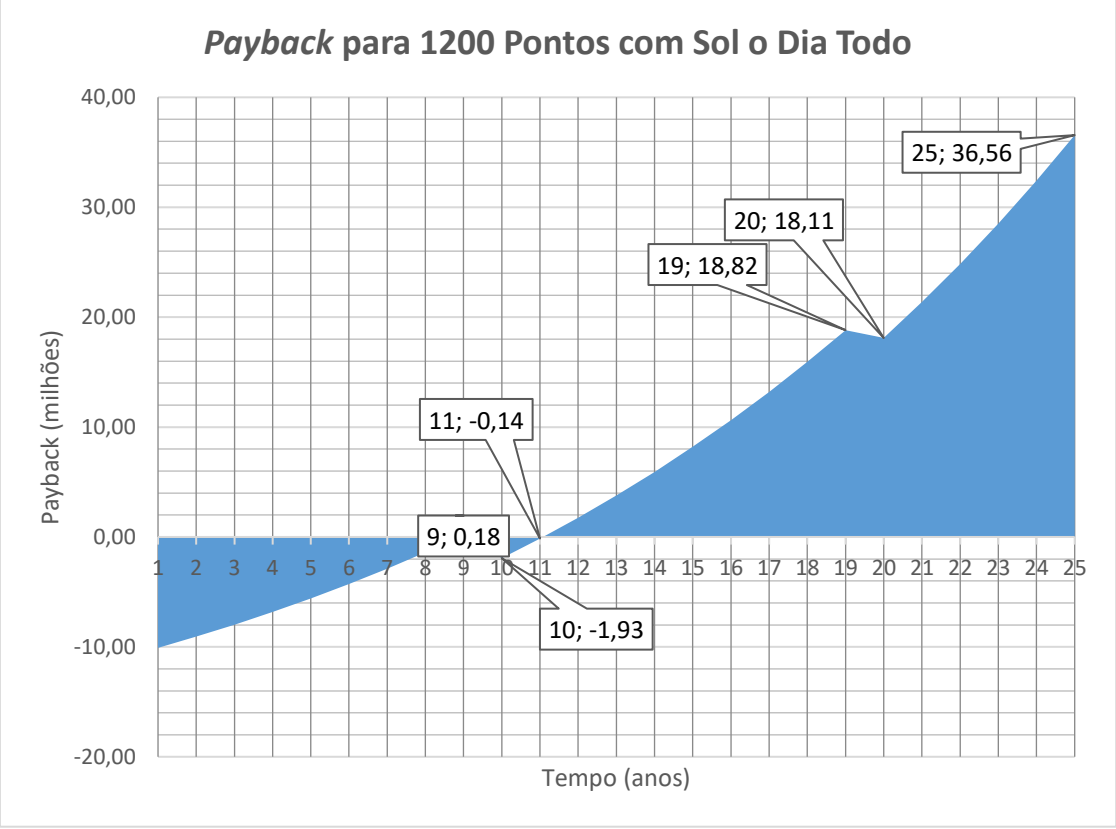


Figura 22 - *Payback* para 1200 com sol o dia todo
Fonte: Autoria própria.

Através da figura 22 é possível notar que a partir do nono ano pode-se observar um retorno financeiro devido a economia de energia que foi realizada durante esses anos com a implantação do sistema.

Contudo, no ano seguinte o cliente deverá realizar a troca dos inversores devendo assim investir cerca de R$3.788.196,00 (1200 pontos vezes o valor unitário de R$3.156,83).

O retorno definitivo nesse cenário ocorrerá entre o décimo primeiro e segundo ano onde a partir desse ponto o investimento do cliente já foi pago e a geração própria permite obter uma economia em sua fatura de luz.

4.2.2. *Payback* para os 1200 Pontos que São Expostos ao Sol em Pelo Menos Metade do Dia

Na tabela 27 encontra-se o cálculo do tempo de amortização dos gastos utilizando a produtividade total para o caso de irradiação em pelo menos a metade do dia.

Tabela 27 - *Payback* para o caso 2

Ano	Produtividade (kWh/ano)	Tarifa (R$/kWh)	Limpeza e Operação (R$)	Custo Evitado (R$/mil)	Amortização (R$/mil)	*Payback* (R$/mil)
1	1239183,27	0,64543	110.471,10	689,33	10357,78	-10357,78
2	1231128,58	0,68818	110.471,10	736,77	9621,01	-9621,01
3	1223126,25	0,73377	110.471,10	787,02	8833,99	-8833,99
4	1215175,93	0,78237	110.471,10	840,25	7993,74	-7993,74
5	1207277,28	0,83420	110.471,10	896,64	7097,10	-7097,10
6	1199429,98	0,88946	110.471,10	956,37	6140,73	-6140,73
7	1191633,69	0,94837	110.471,10	1019,64	5121,09	-5121,09
8	1183888,07	1,01119	110.471,10	1086,67	4034,42	-4034,42
9	1176192,79	1,07817	110.471,10	1157,67	2876,76	-2876,76
10	1168547,54	1,14959	110.471,10	-2555,31	5432,07	-5432,07
11	1160951,98	1,22574	110.471,10	1312,56	4119,51	-4119,51
12	1153405,79	1,30693	110.471,10	1396,95	2722,56	-2722,56
13	1145908,66	1,39351	110.471,10	1486,36	1236,20	-1236,20
14	1138460,25	1,48581	110.471,10	1581,07	-344,87	344,87
15	1131060,26	1,58423	110.471,10	1681,39	-2026,26	2026,26
16	1123708,37	1,68917	110.471,10	1787,66	-3813,92	3813,92

17	1116404,26	1,80106	110.471,10	1900,24	-5714,17	5714,17
18	1109147,64	1,92036	110.471,10	2019,50	-7733,66	7733,66
19	1101938,18	2,04757	110.471,10	2145,82	-9879,49	9879,49
20	1094775,58	2,18320	110.471,10	-1508,55	-8370,93	8370,93
21	1087659,54	2,32782	110.471,10	2421,40	-10792,33	10792,33
22	1080589,75	2,48201	110.471,10	2571,56	-13363,90	13363,90
23	1073565,92	2,64642	110.471,10	2730,63	-16094,53	16094,53
24	1066587,74	2,82172	110.471,10	2899,14	-18993,67	18993,67
25	1059654,92	3,00863	110.471,10	3077,64	-22071,30	22071,30

Fonte: Autoria própria.

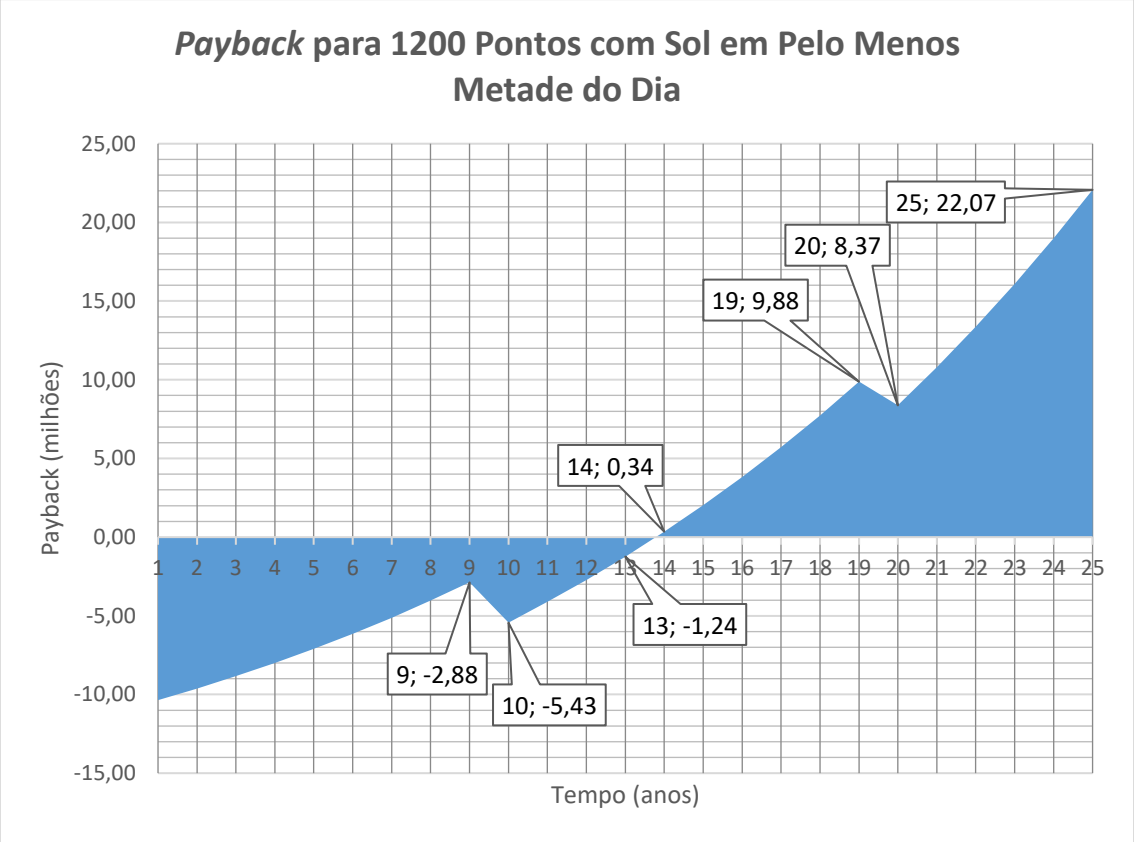


Figura 23 - *Payback* para 1200 com sol em pelo menos metade do dia
Fonte: Autoria própria.

Observando a figura 23 é possível perceber que neste cenário, pode-se observar que o *payback* ocorre entre o décimo terceiro e décimo quarto ano. Uma diferença de cerca de 2 anos comparados com o cenário anterior.

4.2.3. *Payback* para os 1200 Pontos que Quase Não Recebem Sol

Utilizando agora a produtividade total para o caso de irradiação baixa (cerca de 50% de irradiação nos painéis) foi calculado o tempo para ocorrer o payback, conforme tabela 28:

Tabela 28 - *Payback* para o caso 3

Ano	Produtividade (kWh/ano)	Tarifa (R$/kWh)	Limpeza e Operação (R$)	Custo Evitado (R$/mil)	Amortização (R$/mil)	*Payback* (R$/mil)
1	826122,18	0,64543	110.471,10	422,73	10624,38	-10624,38
2	820752,39	0,68818	110.471,10	454,36	10170,03	-10170,03
3	815417,50	0,73377	110.471,10	487,86	9682,17	-9682,17
4	810117,28	0,78237	110.471,10	523,34	9158,83	-9158,83
5	804851,52	0,83420	110.471,10	560,93	8597,89	-8597,89
6	799619,99	0,88946	110.471,10	600,75	7997,14	-7997,14
7	794422,46	0,94837	110.471,10	642,94	7354,20	-7354,20
8	789258,71	1,01119	110.471,10	687,62	6666,58	-6666,58
9	784128,53	1,07817	110.471,10	734,96	5931,62	-5931,62
10	779031,69	1,14959	110.471,10	-3003,10	8934,72	-8934,72
11	773967,99	1,22574	110.471,10	838,21	8096,51	-8096,51
12	768937,20	1,30693	110.471,10	894,48	7202,03	-7202,03
13	763939,10	1,39351	110.471,10	954,08	6247,94	-6247,94
14	758973,50	1,48581	110.471,10	1017,22	5230,72	-5230,72
15	754040,17	1,58423	110.471,10	1084,10	4146,62	-4146,62
16	749138,91	1,68917	110.471,10	1154,95	2991,67	-2991,67
17	744269,51	1,80106	110.471,10	1230,00	1761,66	-1761,66
18	739431,76	1,92036	110.471,10	1309,51	452,16	-452,16
19	734625,45	2,04757	110.471,10	1393,73	-941,57	941,57
20	729850,38	2,18320	110.471,10	-2305,26	1363,69	-1363,69
21	725106,36	2,32782	110.471,10	1577,44	-213,75	213,75
22	720393,17	2,48201	110.471,10	1677,55	-1891,31	1891,31
23	715710,61	2,64642	110.471,10	1783,60	-3674,91	3674,91
24	711058,49	2,82172	110.471,10	1895,93	-5570,84	5570,84
25	706436,61	3,00863	110.471,10	2014,93	-7585,77	7585,77

Fonte: Autoria própria.

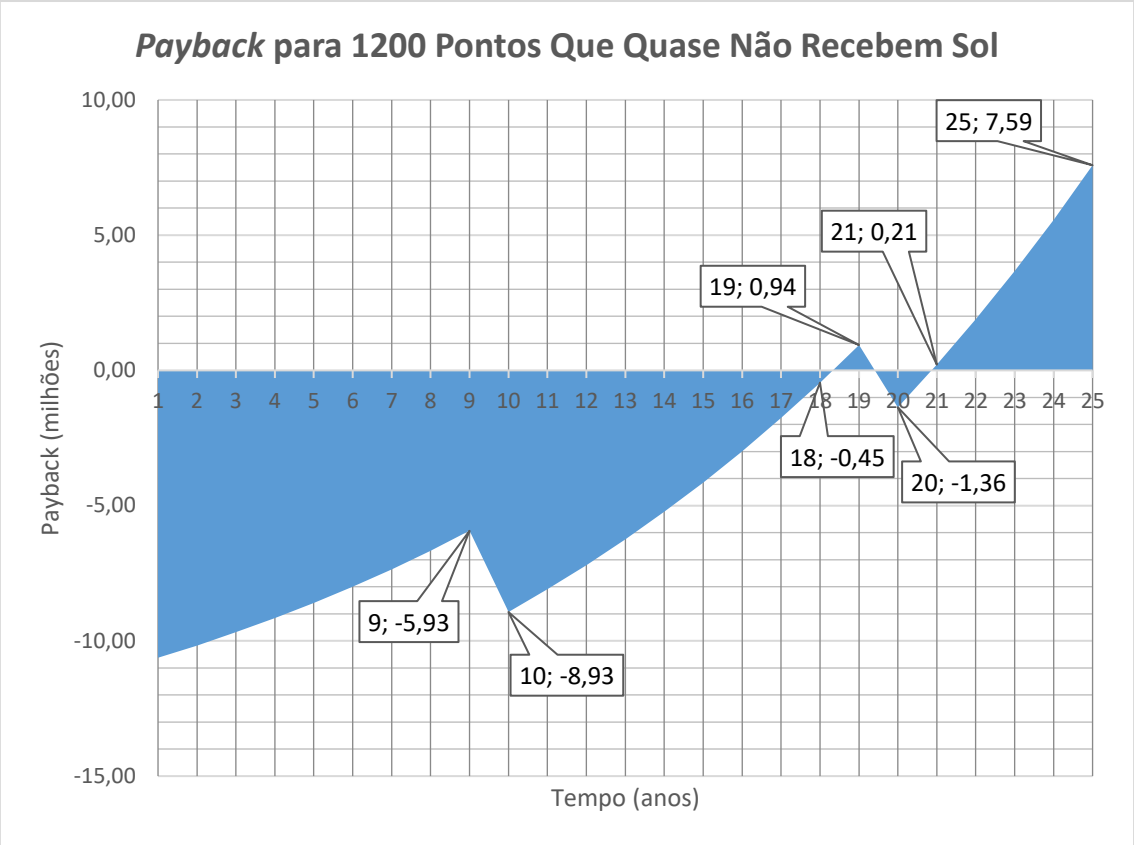


Figura 24 - *Payback* para 1200 que quase não recebem sol
Fonte: Autoria própria.

Conforme figura 24, o *payback* começaria entre o décimo oitavo e décimo nono ano, contudo, devido a troca dos inversores (pela segunda vez) a amortização do investimento começará entre o vigésimo e o vigésimo primeiro ano.

O retorno financeiro nesse caso mesmo sendo possível é muito baixo comparado com os outros dois cenários apresentados.

4.2.4. *Payback* para os 3600 Pontos

Nessa etapa, com os dados obtidos de cada caso de irradiação foram somados os valores de investimento e analisados de forma gráfica o *payback* para todo o sistema proposto. Conforme tabela 29:

Tabela 29 - *Payback* para os 3600 pontos

Ano	Caso 1 (R$/mi)	Caso 2 (R$/mi)	Caso 3 (R$/mi)	Total (R$/mi)
1	-10,09	-10,36	-10,62	-31,07
2	-9,07	-9,62	-10,17	-28,86
3	-7,99	-8,83	-9,68	-26,50
4	-6,83	-7,99	-9,16	-23,98
5	-5,60	-7,10	-8,60	-21,29
6	-4,28	-6,14	-8,00	-18,42
7	-2,89	-5,12	-7,35	-15,36
8	-1,40	-4,03	-6,67	-12,10
9	0,18	-2,88	-5,93	-8,63
10	-1,93	-5,43	-8,93	-16,30
11	-0,14	-4,12	-8,10	-12,36
12	**1,76**	-2,72	-7,20	-8,17
13	3,78	-1,24	-6,25	-3,71
14	5,92	**0,34**	-5,23	**1,03**
15	8,20	2,03	-4,15	6,08
16	10,62	3,81	-2,99	11,44
17	13,19	5,71	-1,76	17,14
18	15,92	7,73	-0,45	23,20
19	18,82	9,88	**0,94**	29,64
20	18,11	8,37	-1,36	25,11
21	21,37	10,79	**0,21**	32,38
22	24,84	13,36	1,89	40,09
23	28,51	16,09	3,67	48,28
24	32,42	18,99	5,57	56,98
25	36,56	22,07	7,59	66,21

Fonte: Autoria própria.

Nessa tabela pode-se verificar bem os pontos onde o *payback* acontece em cada um dos casos e também para o sistema inteiro.

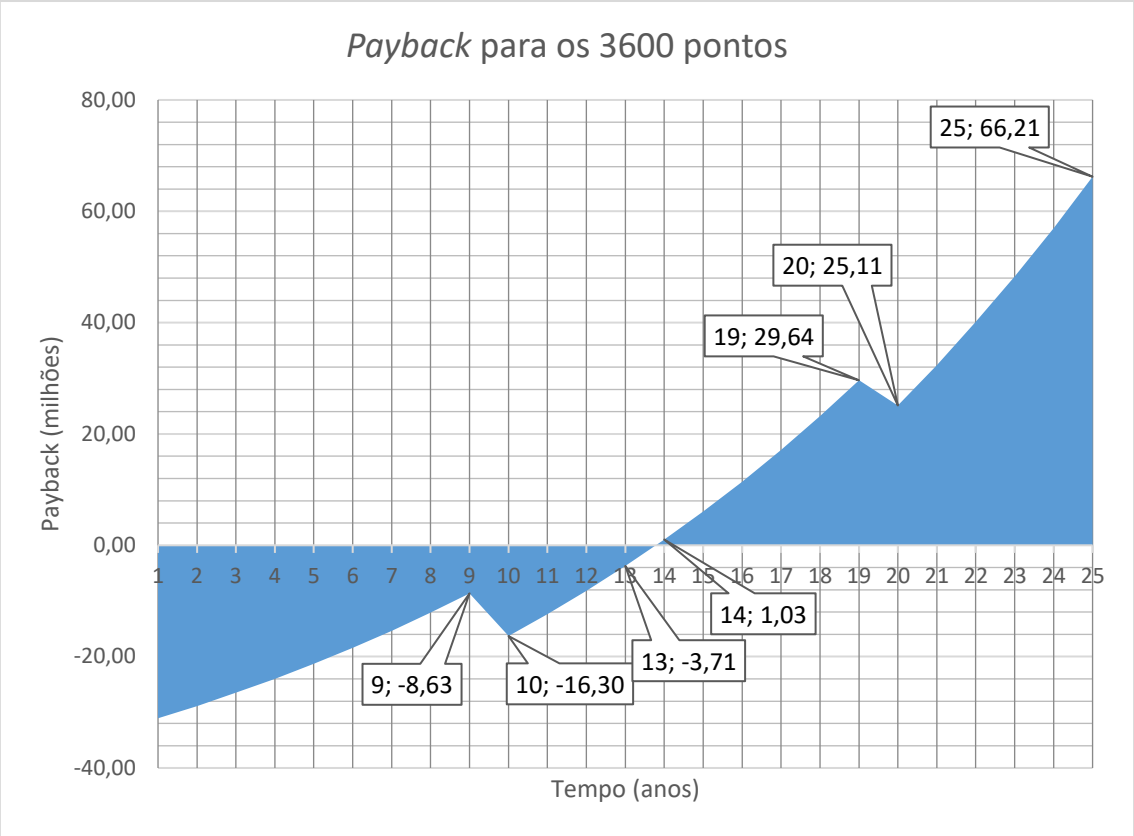


Figura 25 - *Payback* para os 3600 pontos
Fonte: Autoria própria.

Note, a partir da figura 25, que o *payback* para o sistema com os 3 casos acontece entre o décimo terceiro e décimo quarto ano.

O investimento inicial foi estimado um montante total de R$31,07 milhões.

No vigésimo primeiro ano o cliente haveria economizado com gastos em energia elétrica cerca de R$32,38 milhões, ou seja, o valor da sua economia poderia ser investido novamente em um sistema como esse por exemplo.

Ao final da vida útil considerada como 25 anos, o sistema iria economizar um montante total de R$66,21 milhões.

4.2.5. *Payback* para os 2400 Pontos

Como um dos casos nos retornou um *payback* não muito interessante para a análise foi feita a simulação com a implantação apenas dos casos onde a irradiação nos painéis ocorra em quase cem por cento do tempo e o caso onde a irradiação ocorra em pelo menos metade do dia. Conforme tabela 30:

Tabela 30 - *Payback* para os 2400 pontos

Ano	Caso 1 (R$/mi)	Caso 2 (R$/mi)	Total (R$/mi)
1	-10,09	-10,36	-20,45
2	-9,07	-9,62	-18,69
3	-7,99	-8,83	-16,82
4	-6,83	-7,99	-14,82
5	-5,60	-7,10	-12,69
6	-4,28	-6,14	-10,43
7	-2,89	-5,12	-8,01
8	-1,40	-4,03	-5,44
9	0,18	-2,88	-2,70
10	-1,93	-5,43	-7,36
11	-0,14	-4,12	-4,26
12	**1,76**	-2,72	-0,97
13	3,78	-1,24	**2,54**
14	5,92	**0,34**	6,27
15	8,20	2,03	10,23
16	10,62	3,81	14,43
17	13,19	5,71	18,90
18	15,92	7,73	23,65
19	18,82	9,88	28,70
20	18,11	8,37	26,48
21	21,37	10,79	32,16
22	24,84	13,36	38,20
23	28,51	16,09	44,61
24	32,42	18,99	51,41
25	36,56	22,07	58,63

Fonte: Autoria própria.

Note a diferença de *payback* entre a tabela 29 e 30 no fim da vida útil do sistema chega a ser de R$7,58 milhões, contudo vale ressaltar que o investimento para o segundo caso foi menor (cerca de R$11 milhões).

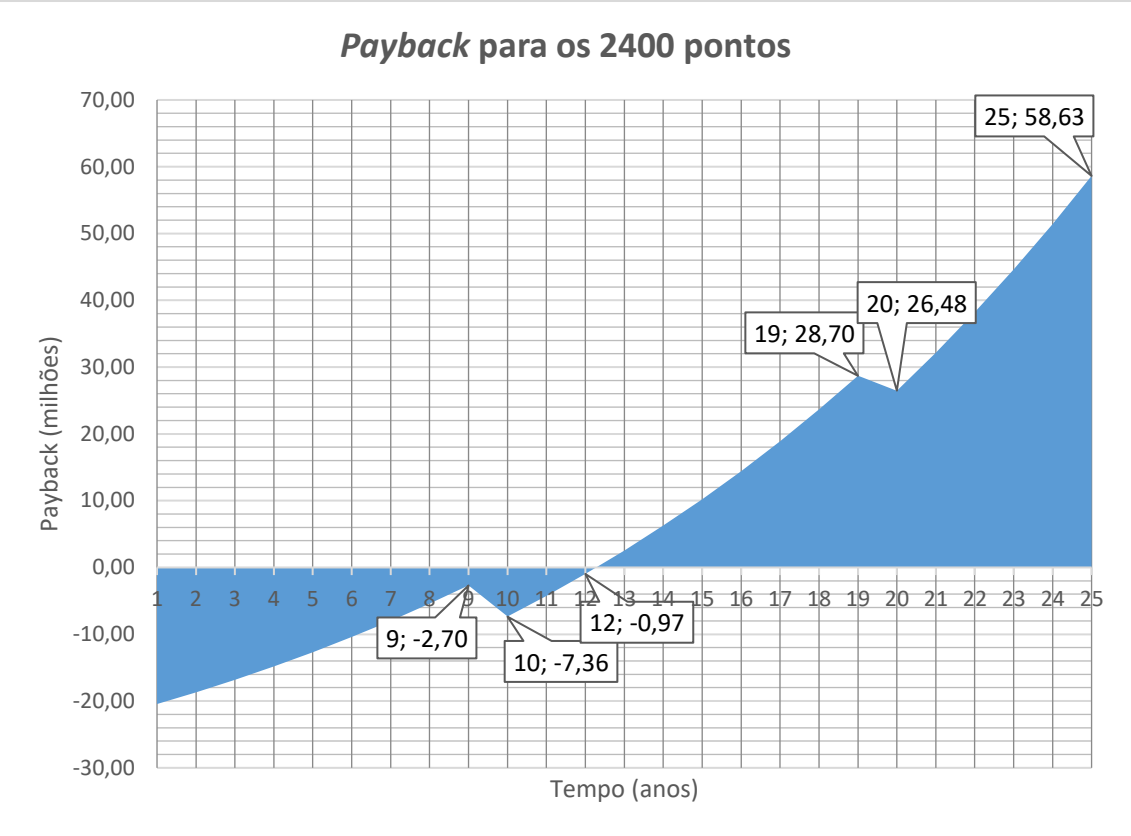


Figura 26 - *Payback* para os 2400 pontos
Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a figura 26 é possível perceber que mesmo com um investimento menor é possível obter um sistema mais eficiente. Pode-se definir que uma implantação com essas características além de proporcionar um *payback* quase na meia vida dos painéis (cerca de 12 anos e meio), a economia por estar gerando sua própria energia pode ser aplicada em outras áreas de investimento onde o cliente prefira optar.

4.3. CÁLCULO DO PAYBACK DO CONJUNTO DE PAINÉIS INVESTINDO O CUSTO EVITADO NA POUPANÇA

Foi realizado o cálculo do quanto o dinheiro do custo evitado por ano renderia se fosse aplicado em uma poupança. A poupança foi escolhida para ser feita uma simulação por ser a aplicação mais simples e tradicional do mercado. O primeiro passo é obter o valor da taxa de juros anual que os recursos economizados com o sistema

serão remunerados. Para isso foi feita a média da taxa de juros anual dos últimos dez anos, conforme tabela 27:

Tabela 31 - Taxa de juros anual da poupança de 2006 até 2016

Ano	Reajuste (%)
2006	8,4118
2007	7,797
2008	7,741
2009	7,093
2010	6,806
2011	7,5
2012	6,575
2013	6,318
2014	7,02
2015	7,944
2016	8,348
Média	8,15538

Fonte: Portal Brasil, adaptado (2017).

Foi obtido e utilizado uma taxa de juros anual de 8,15538%. Este valor será aplicado todo ano sob o valor do custo evitado nos três cenários.

4.3.1. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem 100% de Irradiação por Dia Aplicando o Custo Evitado na Poupança

Segue tabela 28 que contempla a taxa de juros da poupança aplicada no custo evitado.

Tabela 32- *Payback* para o caso de 100% irradiação aplicando o custo evitado na poupança

Ano	Produtividade (kWh/ano)	Tarifa (R$/kWh)	Limpeza e Operação	Custo Evitado (R$/mil)	Rendimento Poupança (R$/mil)	Amortização (R$/mil)	*Payback* (R$/mil)
1	1652244,37	0,6454	110471,1	955,9370	1033,8973	10013,2187	-10013,21873
2	1641504,78	0,6882	110471,1	1019,1850	1102,3035	8910,9153	-8910,915265
3	1630835,00	0,7338	110471,1	1086,1843	1174,7668	7736,1485	-7736,148485
4	1620234,57	0,7824	110471,1	1157,1573	1251,5279	6484,6206	-6484,620628
5	1609703,04	0,8342	110471,1	1232,3396	1332,8416	5151,7790	-5151,779036
6	1599239,97	0,8895	110471,1	1311,9810	1418,9780	3732,8010	-3732,801039
7	1588844,91	0,9484	110471,1	1396,3458	1510,2231	2222,5779	-2222,577932
8	1578517,42	1,0112	110471,1	1485,7143	1606,8799	615,6980	-615,6980218
9	1568257,06	1,0782	110471,1	1580,3831	1709,2694	-1093,5714	1093,571354

10	1558063,39	1,1496	110471,1	-2107,5293	-2279,4063	1185,8349	-1185,834921
11	1547935,98	1,2257	110471,1	1786,8981	1932,6265	-746,7915	746,7915379
12	1537874,39	1,3069	110471,1	1899,4300	2054,3358	-2801,1273	2801,127308
13	1527878,21	1,3935	110471,1	2018,6361	2183,2636	-4984,3909	4984,3909
14	1517947,00	1,4858	110471,1	2144,9123	2319,8381	-7304,2290	7304,22895
15	1508080,35	1,5842	110471,1	2278,6778	2464,5127	-9768,7416	9768,741614
16	1498277,82	1,6892	110471,1	2420,3769	2617,7678	-12386,5095	12386,50946
17	1488539,02	1,8011	110471,1	2570,4801	2780,1125	-15166,6220	15166,62197
18	1478863,51	1,9204	110471,1	2729,4858	2952,0857	-18118,7077	18118,70772
19	1469250,90	2,0476	110471,1	2897,9221	3134,2586	-21252,9663	21252,96633
20	1459700,77	2,1832	110471,1	-711,8478	-769,9017	-20483,0646	20483,06461
21	1450212,71	2,3278	110471,1	3265,3566	3531,6589	-24014,7235	24014,72349
22	1440786,33	2,4820	110471,1	3465,5751	3748,2059	-27762,9294	27762,9294
23	1431421,22	2,6464	110471,1	3677,6684	3977,5962	-31740,5256	31740,52562
24	1422116,98	2,8217	110471,1	3902,3408	4220,5915	-35961,1172	35961,11717
25	1412873,22	3,0086	110471,1	4140,3384	4477,9988	-40439,1160	40439,11595

Fonte: Autoria própria.

É possível perceber que aplicando na poupança o tempo para amortizar os gastos diminui em um ano e o valor obtido no fim dos 25 anos e consideravelmente maior, conforme a figura 22:

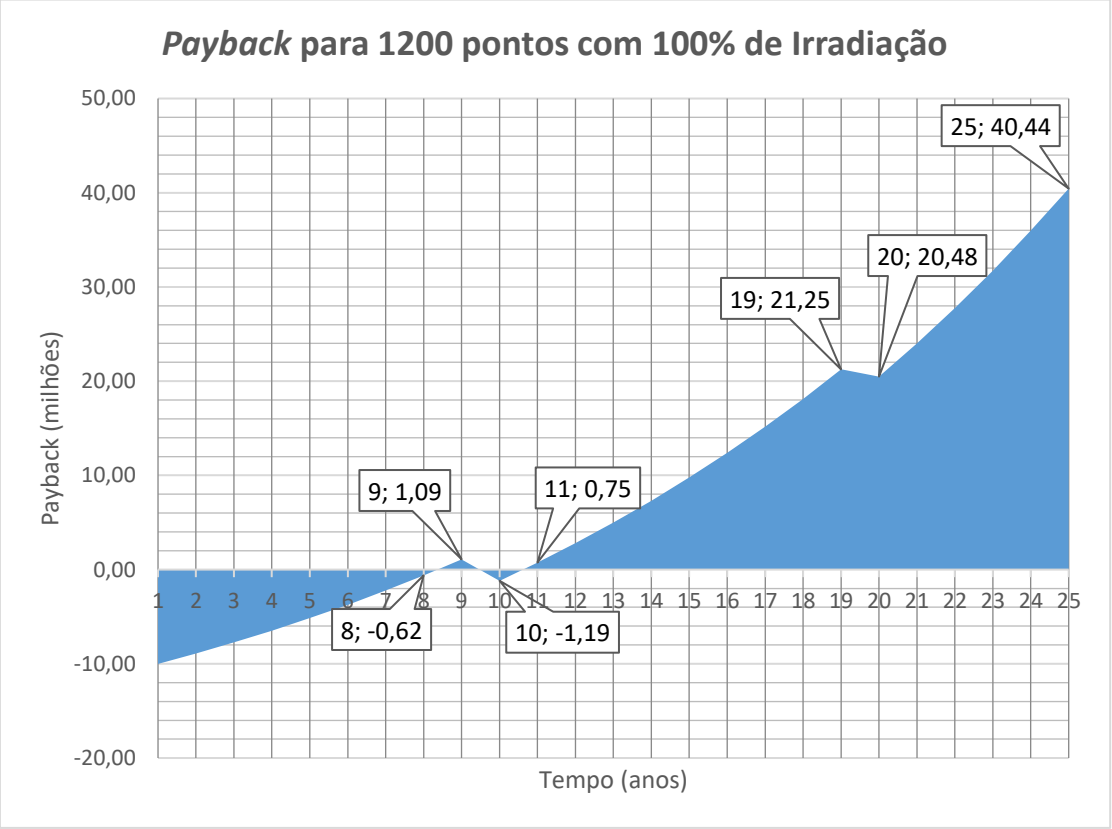


Figura 27- *Payback* para 1200 pontos de ônibus com sol o dia todo aplicando o custo evitado na poupança
Fonte: Autoria própria.

4.3.2. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem 75% de Irradiação por Dia Aplicando o Custo Evitado na Poupança

Segue tabela 29 com o cálculo do rendimento do dinheiro correspondente ao custo evitado quando aplicado na poupança.

Tabela 33 - *Payback* para o caso de 75% irradiação aplicando o custo evitado na poupança

Ano	Produtividade (kWh/ano)	Tarifa (R$/kWh)	Limpeza e Operação (R$)	Custo Evitado (R$)	Rendimento Poupança (R$)	Amortização (R$/mil)	*Payback* (R$/mil)
1	1239183,27	0,6454	110471,1	689,3350	745,5528	10301,5632	-10301,6
2	1231128,58	0,6882	110471,1	736,7710	796,8575	9504,7057	-9504,71
3	1223126,25	0,7338	110471,1	787,0205	851,2050	8653,5007	-8653,5
4	1215175,93	0,7824	110471,1	840,2502	908,7758	7744,7249	-7744,72
5	1207277,28	0,8342	110471,1	896,6369	969,7611	6774,9638	-6774,96
6	1199429,98	0,8895	110471,1	956,3679	1034,3634	5740,6004	-5740,6
7	1191633,69	0,9484	110471,1	1019,6416	1102,7972	4637,8032	-4637,8
8	1183888,07	1,0112	110471,1	1086,6679	1175,2898	3462,5134	-3462,51
9	1176192,79	1,0782	110471,1	1157,6696	1252,0819	2210,4315	-2210,43
10	1168547,54	1,1496	110471,1	-2555,3137	-2763,7093	4974,1407	-4974,14
11	1160951,98	1,2257	110471,1	1312,5558	1419,5997	3554,5410	-3554,54
12	1153405,79	1,3069	110471,1	1396,9547	1510,8817	2043,6593	-2043,66
13	1145908,66	1,3935	110471,1	1486,3593	1607,5776	436,0817	-436,082
14	1138460,25	1,4858	110471,1	1581,0665	1710,0084	-1273,9267	1273,927
15	1131060,26	1,5842	110471,1	1681,3906	1818,5144	-3092,4411	3092,441
16	1123708,37	1,6892	110471,1	1787,6649	1933,4558	-5025,8969	5025,897
17	1116404,26	1,8011	110471,1	1900,2423	2055,2143	-7081,1112	7081,111
18	1109147,64	1,9204	110471,1	2019,4966	2184,1942	-9265,3054	9265,305
19	1101938,18	2,0476	110471,1	2145,8238	2320,8239	-11586,1292	11586,13
20	1094775,58	2,1832	110471,1	-1508,5526	-1631,5808	-9954,5484	9954,548
21	1087659,54	2,3278	110471,1	2421,3997	2618,8741	-12573,4224	12573,42
22	1080589,75	2,4820	110471,1	2571,5635	2781,2843	-15354,7068	15354,71
23	1073565,92	2,6464	110471,1	2730,6335	2953,3271	-18308,0338	18308,03
24	1066587,74	2,8217	110471,1	2899,1378	3135,5735	-21443,6074	21443,61
25	1059654,92	3,0086	110471,1	3077,6361	3328,6290	-24772,2363	24772,24

Fonte: Autoria própria.

O ano em que os gastos foram amortizados permaneceu o mesmo sem investir o dinheiro do custo evitado, porém no fim dos 25 anos o dinheiro economizado foi de 2,7 milhões de reais a mais. Conforme a figura 23:

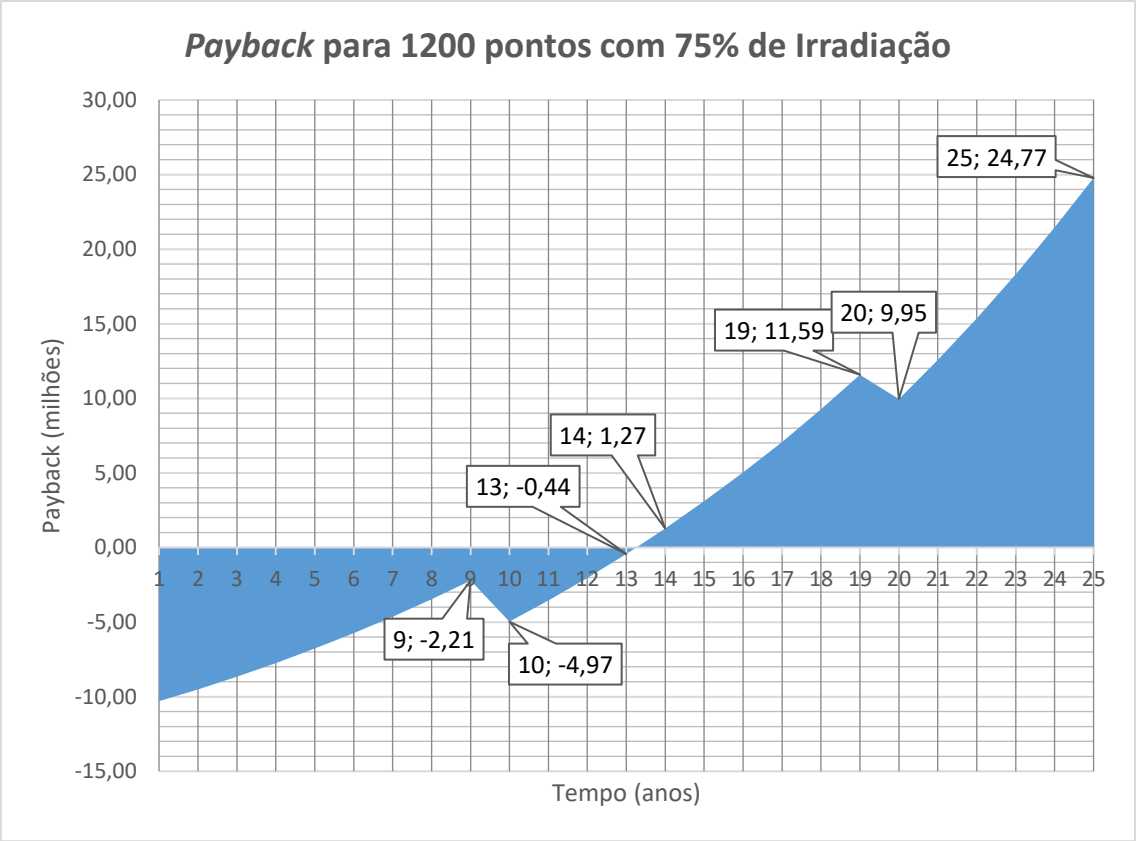


Figura 28- *Payback* para 1200 com sol em pelo menos metade do dia aplicando o custo evitado na poupança
Fonte: Autoria própria.

4.3.3. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem 50% de Irradiação por Dia Aplicando o Custo Evitado na Poupança

Segue tabela 30 com o cálculo do rendimento do dinheiro correspondente ao custo evitado aplicado na poupança.

Tabela 34- *Payback* para o caso de 50% irradiação aplicando o custo evitado na poupança

Ano	Produtividade (kWh/ano)	Tarifa (R$/kWh)	Limpeza e Operação (R$)	Custo Evitado (R$/mil)	Rendimento Poupança (R$/mil)	Amortização (R$/mil)	*Payback* (R$/mil)
1	826122,18	0,6454	110471,1	422,7329	457,2084	10589,9076	-10589,90758
2	820752,39	0,6882	110471,1	454,3570	491,4115	10098,4961	-10098,49607
3	815417,50	0,7338	110471,1	487,8566	527,6432	9570,8529	-9570,8529
4	810117,28	0,7824	110471,1	523,3431	566,0237	9004,8292	-9004,82919
5	804851,52	0,8342	110471,1	560,9343	606,6806	8398,1486	-8398,148613
6	799619,99	0,8895	110471,1	600,7549	649,7488	7748,3998	-7748,399833
7	794422,46	0,9484	110471,1	642,9373	695,3713	7053,0285	-7053,028499

8	789258,71	1,0112	110471,1	687,6216	743,6997	6309,3288	-6309,328763
9	784128,53	1,0782	110471,1	734,9560	794,8945	5514,4343	-5514,434294
10	779031,69	1,1496	110471,1	-3003,0982	-3248,0122	8762,4465	-8762,44654
11	773967,99	1,2257	110471,1	838,2135	906,5730	7855,8735	-7855,873529
12	768937,20	1,3069	110471,1	894,4795	967,4277	6888,4459	-6888,445864
13	763939,10	1,3935	110471,1	954,0825	1031,8916	5856,5543	-5856,554287
14	758973,50	1,4858	110471,1	1017,2206	1100,1788	4756,3755	-4756,37548
15	754040,17	1,5842	110471,1	1084,1034	1172,5161	3583,8594	-3583,859367
16	749138,91	1,6892	110471,1	1154,9529	1249,1437	2334,7157	-2334,715662
17	744269,51	1,8011	110471,1	1230,0045	1330,3160	1004,3996	-1004,399626
18	739431,76	1,9204	110471,1	1309,5074	1416,3027	-411,9030	411,9030278
19	734625,45	2,0476	110471,1	1393,7255	1507,3891	-1919,2921	1919,292116
20	729850,38	2,1832	110471,1	-2305,2575	-2493,2600	573,9679	-573,9678532
21	725106,36	2,3278	110471,1	1577,4428	1706,0892	-1132,1214	1132,121369
22	720393,17	2,4820	110471,1	1677,5520	1814,3627	-2946,4841	2946,484105
23	715710,61	2,6464	110471,1	1783,5986	1929,0579	-4875,5420	4875,541996
24	711058,49	2,8217	110471,1	1895,9349	2050,5556	-6926,0975	6926,097549
25	706436,61	3,0086	110471,1	2014,9337	2179,2592	-9105,3567	9105,356721

Fonte: Autoria própria.

O ano em que ocorreu o *payback* permaneceu o mesmo sem investir o dinheiro do custo evitado na poupança, porém no fim dos 25 anos o dinheiro economizado foi de 1,52 milhões de reais a mais. Conforme a figura 24 abaixo.

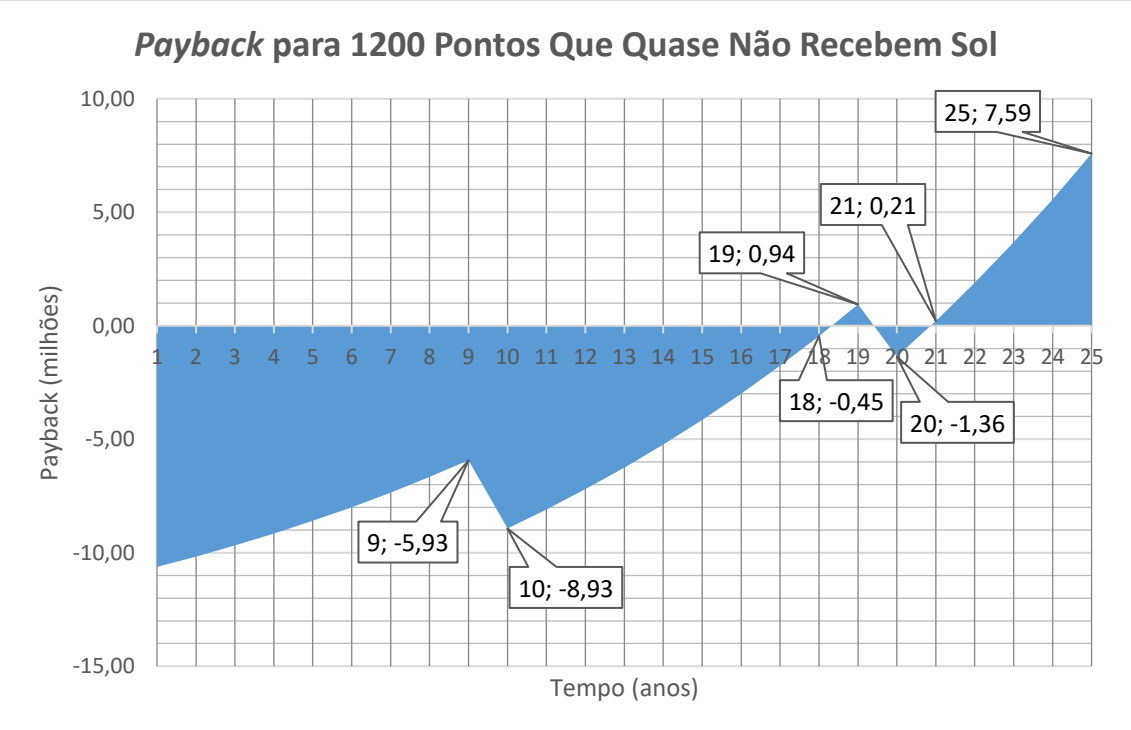


Figura 29- *Payback* para 1200 pontos de ônibus que quase não recebem sol aplicando o custo evitado na poupança.
Fonte: Autoria própria.

4.3.4. *Payback* para os 3600 Pontos

Quando se analisa todo o sistema proposto investindo o custo evitado total na poupança se obtém os valores dispostos na tabela 31:

Tabela 35- *Payback* em milhões de reais para os 3600 pontos investindo o custo evitado na poupança

Ano	50%	75%	100%	Total
1	-10,59	-10,30	-10,01	-30,90
2	-10,10	-9,50	-8,91	-28,51
3	-9,57	-8,65	-7,74	-25,96
4	-9,00	-7,74	-6,48	-23,23
5	-8,40	-6,77	-5,15	-20,32
6	-7,75	-5,74	-3,73	-17,22
7	-7,05	-4,64	-2,22	-13,91
8	-6,31	-3,46	-0,62	-10,39
9	-5,51	-2,21	1,09	-6,63
10	-8,76	-4,97	-1,19	-14,92
11	-7,86	-3,55	0,75	-10,66
12	-6,89	-2,04	2,80	-6,13
13	-5,86	-0,44	4,98	-1,31
14	-4,76	1,27	7,30	3,82
15	-3,58	3,09	9,77	9,28
16	-2,33	5,03	12,39	15,08
17	-1,00	7,08	15,17	21,24
18	0,41	9,27	18,12	27,80
19	1,92	11,59	21,25	34,76
20	-0,57	9,95	20,48	29,86
21	1,13	12,57	24,01	37,72
22	2,95	15,35	27,76	46,06
23	4,88	18,31	31,74	54,92
24	6,93	21,44	35,96	64,33
25	9,11	24,77	40,44	74,32

Fonte: Autoria própria.

O ano em que os gastos foram amortizados não se alterou quando comparado aos cálculos de *payback* sem o investimento do dinheiro do custo evitado na poupança. Porém no fim dos 25 anos é possível perceber uma economia consideravelmente maior, correspondente a 8,1 milhões de reais. Conforme figura 25:

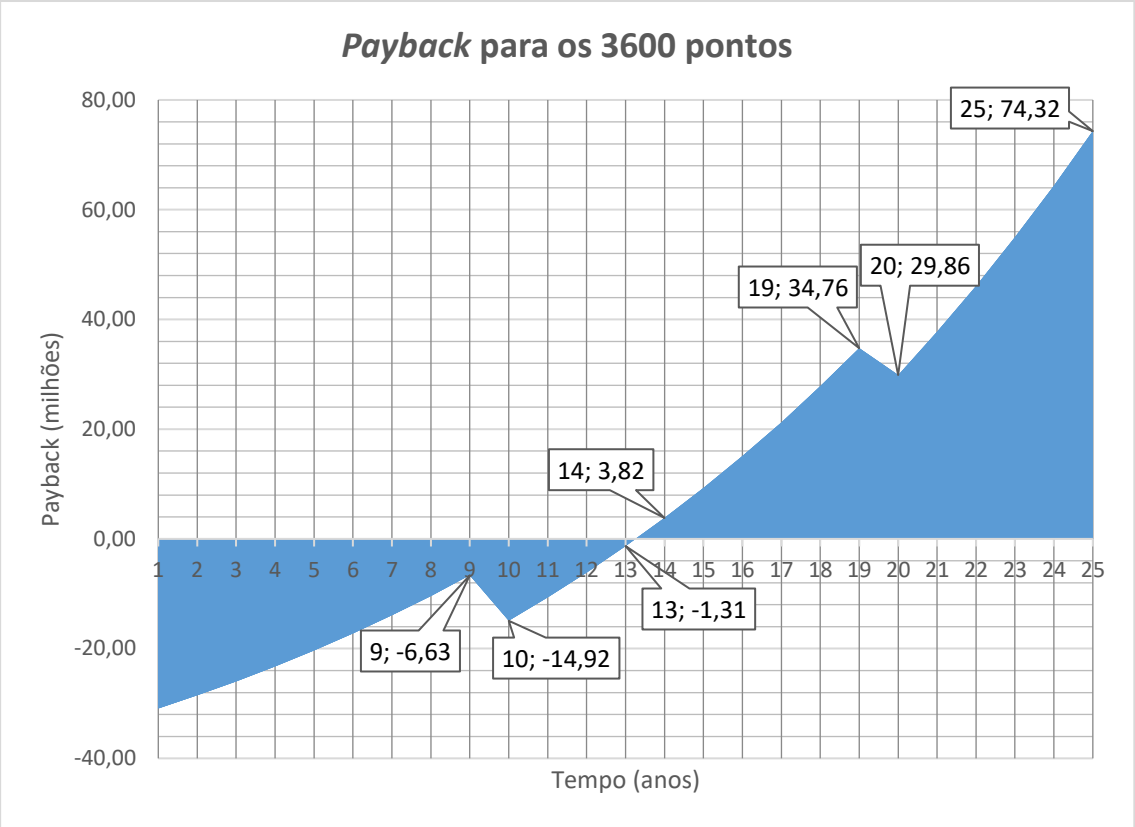


Figura 30- *Payback* para os 3600 pontos de ônibus investindo o dinheiro do custo evitado na poupança
Fonte: Autoria própria.

4.3.5. *Payback* para os 2400 Pontos

Também foi calculado o tempo para se amortizar os gastos quando se instala o sistema nos dois grupos que possuem um maior rendimento, os valores obtidos encontram-se na tabela 32:

Tabela 36 - *Payback* em milhões de reais para os 2400 pontos investindo o custo evitado na poupança

Ano	75%	100%	Total
1	-10,30	-10,01	-20,31
2	-9,50	-8,91	-18,42
3	-8,65	-7,74	-16,39
4	-7,74	-6,48	-14,23
5	-6,77	-5,15	-11,93
6	-5,74	-3,73	-9,47
7	-4,64	-2,22	-6,86
8	-3,46	-0,62	-4,08
9	-2,21	1,09	-1,12

10	-4,97	-1,19	-6,16
11	-3,55	0,75	-2,81
12	-2,04	2,80	0,76
13	-0,44	4,98	4,55
14	1,27	7,30	8,58
15	3,09	9,77	12,86
16	5,03	12,39	17,41
17	7,08	15,17	22,25
18	9,27	18,12	27,38
19	11,59	21,25	32,84
20	9,95	20,48	30,44
21	12,57	24,01	36,59
22	15,35	27,76	43,12
23	18,31	31,74	50,05
24	21,44	35,96	57,40
25	24,77	40,44	65,21

Fonte: Autoria própria.

Aplicando o dinheiro do custo evitado na poupança foi possível diminuir o tempo para amortização dos gastos em um ano, e no fim se obtém uma economia de 6,58 milhões de reais. Conforme figura 26:

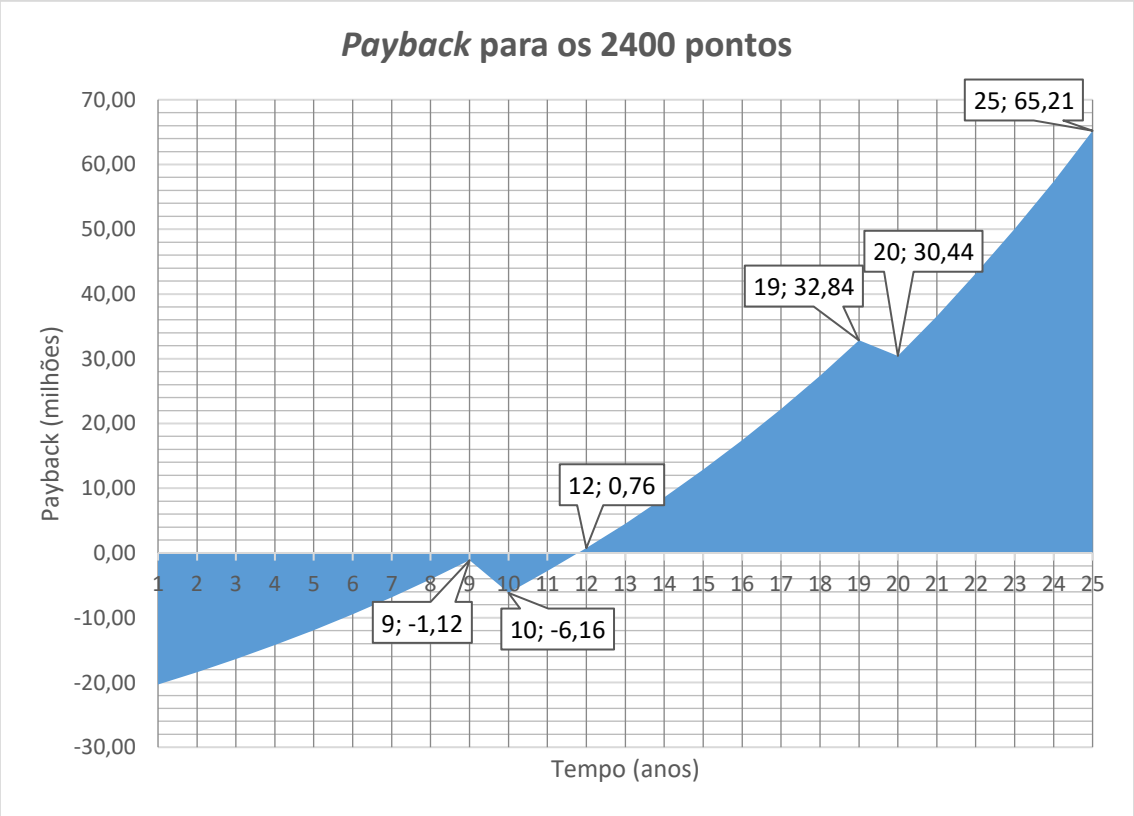


Figura 31 - *Payback* para os 2400 pontos de ônibus investindo o dinheiro do custo evitado na poupança
Fonte: Autoria própria.

4.4. CÁLCULO DO PAYBACK DO CONJUNTO DE PAINÉIS INVESTINDO O CUSTO EVITADO NO TESOURO NACIONAL

Foi realizada uma segunda simulação, desta vez investindo o dinheiro correspondente ao custo evitado no tesouro nacional. O título escolhido foi o Tesouro IPCA+2024 (NTNB), e sua taxa de rendimento varia de acordo com a inflação acumulada atual. Para encontrar sua taxa de rendimento anual é preciso somar a taxa de rendimento de 5,58% com a taxa de inflação. (Tesouro Nacional,2017)

Para realizar a simulação foi preciso calcular a média dos valores de inflação dos últimos dez anos, conforme tabela 33:

Tabela 37- Valores da inflação de 2006 a 2016

Ano	Reajuste (%)
2006	3,14
2007	4,15
2008	5,9
2009	4,31
2010	5,9
2011	6,5
2012	5,83
2013	5,91
2014	6,41
2015	10,67
2016	6,29
Média	6,501

Fonte: Autoria própria.

Para encontrar a taxa de rendimento anual do título escolhido somou-se a média da inflação encontrada com os 5,58%, encontrando 12,081% ao ano.

4.4.1. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem Irradiação 100% do Dia Aplicando o Custo Evitado no Tesouro Nacional

Segue tabela 34 com o cálculo do rendimento do dinheiro correspondente ao custo evitado aplicado no tesouro nacional.

Tabela 38 - *Payback* para o caso de 100% de irradiação aplicando o custo evitado no Tesouro nacional

Ano	Produtividade (kWh/ano)	Tarifa (R$/kWh)	Limpeza e Operação (R$)	Custo Evitado (R$/mil)	Rendimento Tesouro (R$/mil)	Amortização (R$/mil)	*Payback* (R$/mil)
1	1652244,37	0,6454	110471,1	955,9370	1071,4237	9975,6923	-9975,69
2	1641504,78	0,6882	110471,1	1019,1850	1142,3128	8833,3795	-8833,38
3	1630835,00	0,7338	110471,1	1086,1843	1217,4062	7615,9732	-7615,97
4	1620234,57	0,7824	110471,1	1157,1573	1296,9535	6319,0198	-6319,02
5	1609703,04	0,8342	110471,1	1232,3396	1381,2186	4937,8012	-4937,8
6	1599239,97	0,8895	110471,1	1311,9810	1470,4814	3467,3198	-3467,32
7	1588844,91	0,9484	110471,1	1396,3458	1565,0383	1902,2815	-1902,28
8	1578517,42	1,0112	110471,1	1485,7143	1665,2034	237,0781	-237,078
9	1568257,06	1,0782	110471,1	1580,3831	1771,3092	-1534,2311	1534,231
10	1558063,39	1,1496	110471,1	-2107,5293	-2362,1399	827,9087	-827,909
11	1547935,98	1,2257	110471,1	1786,8981	2002,7733	-1174,8646	1174,865
12	1537874,39	1,3069	110471,1	1899,4300	2128,9002	-3303,7647	3303,765
13	1527878,21	1,3935	110471,1	2018,6361	2262,5076	-5566,2723	5566,272
14	1517947,00	1,4858	110471,1	2144,9123	2404,0392	-7970,3115	7970,311
15	1508080,35	1,5842	110471,1	2278,6778	2553,9649	-10524,2764	10524,28
16	1498277,82	1,6892	110471,1	2420,3769	2712,7826	-13237,0590	13237,06
17	1488539,02	1,8011	110471,1	2570,4801	2881,0198	-16118,0788	16118,08
18	1478863,51	1,9204	110471,1	2729,4858	3059,2350	-19177,3138	19177,31
19	1469250,90	2,0476	110471,1	2897,9221	3248,0200	-22425,3338	22425,33
20	1459700,77	2,1832	110471,1	-711,8478	-797,8462	-21627,4876	21627,49
21	1450212,71	2,3278	110471,1	3265,3566	3659,8444	-25287,3320	25287,33
22	1440786,33	2,4820	110471,1	3465,5751	3884,2512	-29171,5832	29171,58
23	1431421,22	2,6464	110471,1	3677,6684	4121,9675	-33293,5507	33293,55
24	1422116,98	2,8217	110471,1	3902,3408	4373,7826	-37667,3334	37667,33
25	1412873,22	3,0086	110471,1	4140,3384	4640,5327	-42307,8661	42307,87

Fonte: Autoria própria.

Investindo o dinheiro do custo evitado no tesouro nacional diminui em um ano o tempo de *payback* e no fim dos 25 anos será economizado 5,72 milhões de reais, conforme a figura 27:

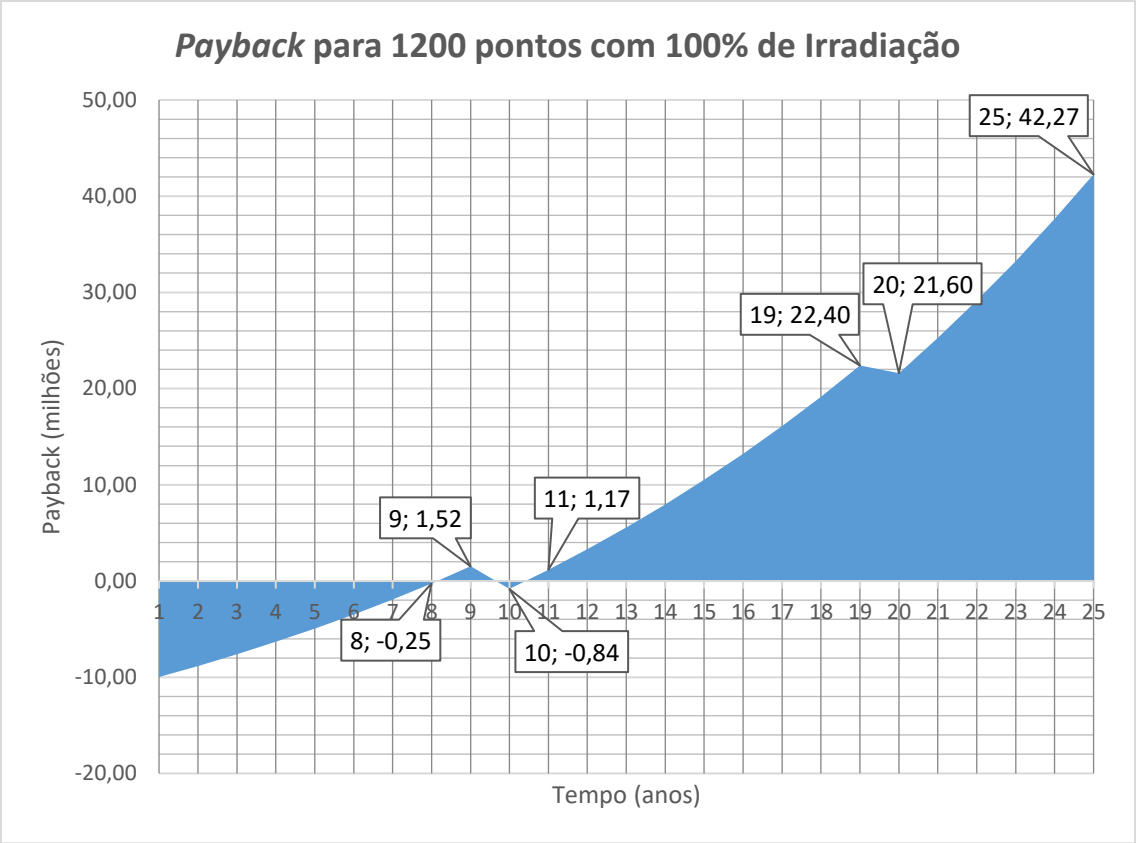


Figura 32- *Payback* para 1200 pontos de ônibus com em pelo menos metade do dia aplicando o custo evitado no tesouro nacional
Fonte: Autoria própria.

4.4.2. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem Irradiação 75% do Dia Aplicando o Custo Evitado no Tesouro Nacional

Segue tabela 35 com o cálculo do rendimento do dinheiro correspondente ao custo evitado aplicado no tesouro nacional.

Tabela 39- *Payback* para o caso de 75% de irradiação aplicando o custo evitado no Tesouro nacional

Ano	Produtividade (kWh/ano)	Tarifa (R$/kWh)	Limpeza e Operação (R$)	Custo Evitado (R$/mil)	Rendimento Tesouro (R$/mil)	Amortização (R$/mil)	*Payback* (R$/mil)
1	1239183,27	0,6454	110471,1	689,3350	772,6135	10274,5025	-10274,5025
2	1231128,58	0,6882	110471,1	736,7710	825,7803	9448,7222	-9448,72217
3	1223126,25	0,7338	110471,1	787,0205	882,1004	8566,6218	-8566,62176
4	1215175,93	0,7824	110471,1	840,2502	941,7608	7624,8609	-7624,86095
5	1207277,28	0,8342	110471,1	896,6369	1004,9596	6619,9013	-6619,9013
6	1199429,98	0,8895	110471,1	956,3679	1071,9068	5547,9945	-5547,99454
7	1191633,69	0,9484	110471,1	1019,6416	1142,8245	4405,1701	-4405,17007

8	1183888,07	1,0112	110471,1	1086,6679	1217,9483	3187,2218	-3187,22179
9	1176192,79	1,0782	110471,1	1157,6696	1297,5276	1889,6942	-1889,69416
10	1168547,54	1,1496	110471,1	-2555,3137	-2864,0212	4753,7153	-4753,71533
11	1160951,98	1,2257	110471,1	1312,5558	1471,1257	3282,5896	-3282,58964
12	1153405,79	1,3069	110471,1	1396,9547	1565,7209	1716,8688	-1716,86879
13	1145908,66	1,3935	110471,1	1486,3593	1665,9264	50,9424	-50,942383
14	1138460,25	1,4858	110471,1	1581,0665	1772,0751	-1721,1327	1721,13271
15	1131060,26	1,5842	110471,1	1681,3906	1884,5194	-3605,6521	3605,6521
16	1123708,37	1,6892	110471,1	1787,6649	2003,6327	-5609,2848	5609,28481
17	1116404,26	1,8011	110471,1	1900,2423	2129,8106	-7739,0954	7739,09537
18	1109147,64	1,9204	110471,1	2019,4966	2263,4720	-10002,5673	10002,5673
19	1101938,18	2,0476	110471,1	2145,8238	2405,0607	-12407,6281	12407,6281
20	1094775,58	2,1832	110471,1	-1508,5526	-1690,8009	-10716,8272	10716,8272
21	1087659,54	2,3278	110471,1	2421,3997	2713,9290	-13430,7562	13430,7562
22	1080589,75	2,4820	110471,1	2571,5635	2882,2341	-16312,9903	16312,9903
23	1073565,92	2,6464	110471,1	2730,6335	3060,5214	-19373,5117	19373,5117
24	1066587,74	2,8217	110471,1	2899,1378	3249,3827	-22622,8944	22622,8944
25	1059654,92	3,0086	110471,1	3077,6361	3449,4453	-26072,3396	26072,3396

Fonte: Autoria própria.

Não houve mudanças no tempo de *payback* quando se aplica o dinheiro do custo evitado no tesouro nacional, porém no final dos 25 anos a economia será de 4 milhões de reais. Conforme a figura 28:

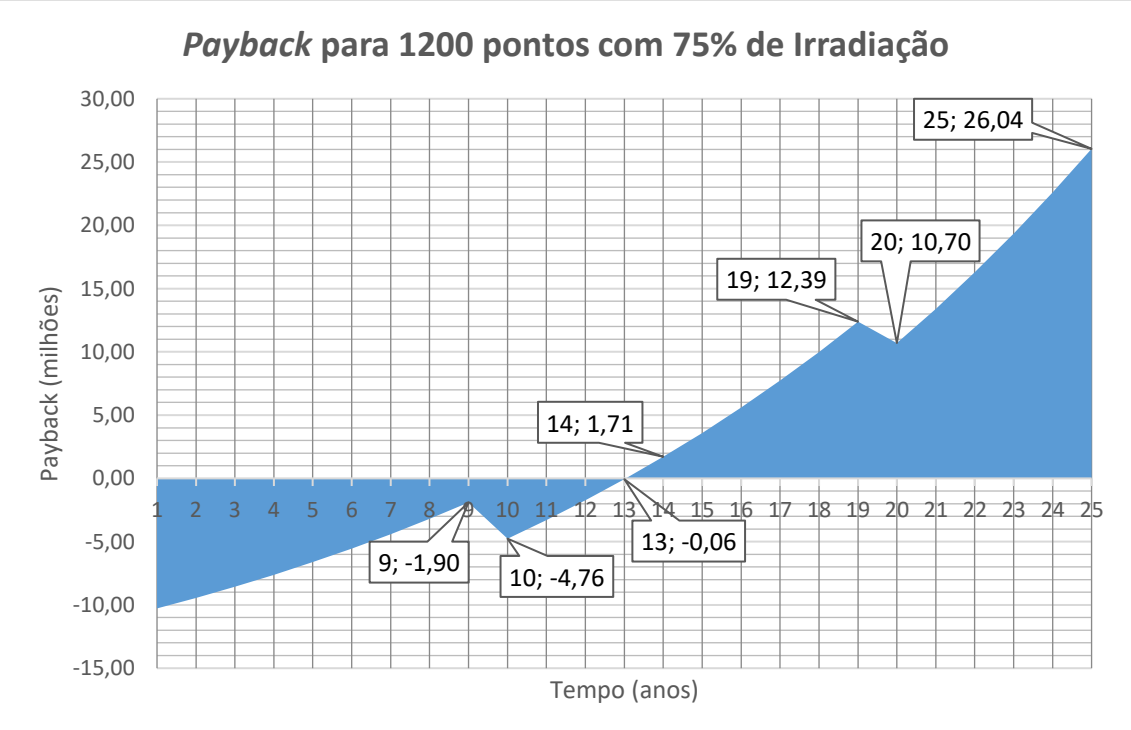


Figura 33 - *Payback* para 1200 com sol em pelo menos metade do dia aplicando o custo evitado no tesouro nacional
Fonte: Autoria própria.

4.4.3. *Payback* para os 1200 Pontos que Recebem Irradiação 50% do Dia Aplicando o Custo Evitado no Tesouro Nacional

Segue tabela 36 com o cálculo do rendimento do dinheiro correspondente ao custo evitado aplicado no tesouro nacional.

Tabela 40- *Payback* para o caso de 50% irradiação aplicando o custo evitado no tesouro nacional

Ano	Produtividade (kWh/ano)	Tarifa (R$/kWh)	Limpeza e Operação (R$)	Custo Evitado (R$/mil)	Rendimento Tesouro (R$/mil)	Amortização (R$/mil)	*Payback* (R$/mil)
1	826122,18	0,6454	110471,1	422,7329	473,8033	10573,3127	-10573,3127
2	820752,39	0,6882	110471,1	454,3570	509,2478	10064,0649	-10064,0649
3	815417,50	0,7338	110471,1	487,8566	546,7946	9517,2703	-9517,27029
4	810117,28	0,7824	110471,1	523,3431	586,5682	8930,7021	-8930,70212
5	804851,52	0,8342	110471,1	560,9343	628,7007	8302,0014	-8302,00139
6	799619,99	0,8895	110471,1	600,7549	673,3321	7628,6693	-7628,66926
7	794422,46	0,9484	110471,1	642,9373	720,6106	6908,0586	-6908,05864
8	789258,71	1,0112	110471,1	687,6216	770,6931	6137,3655	-6137,3655
9	784128,53	1,0782	110471,1	734,9560	823,7460	5313,6194	-5313,61945
10	779031,69	1,1496	110471,1	-3003,0982	-3365,9025	8679,5219	-8679,52192
11	773967,99	1,2257	110471,1	838,2135	939,4781	7740,0438	-7740,04383
12	768937,20	1,3069	110471,1	894,4795	1002,5415	6737,5023	-6737,5023
13	763939,10	1,3935	110471,1	954,0825	1069,3452	5668,1571	-5668,15707
14	758973,50	1,4858	110471,1	1017,2206	1140,1110	4528,0460	-4528,04605
15	754040,17	1,5842	110471,1	1084,1034	1215,0739	3312,9722	-3312,97215
16	749138,91	1,6892	110471,1	1154,9529	1294,4828	2018,4894	-2018,48939
17	744269,51	1,8011	110471,1	1230,0045	1378,6013	639,8880	-639,888048
18	739431,76	1,9204	110471,1	1309,5074	1467,7089	-827,8209	827,8208886
19	734625,45	2,0476	110471,1	1393,7255	1562,1015	-2389,9223	2389,922343
20	729850,38	2,1832	110471,1	-2305,2575	-2583,7556	193,8333	-193,833274
21	725106,36	2,3278	110471,1	1577,4428	1768,0136	-1574,1804	1574,180356
22	720393,17	2,4820	110471,1	1677,5520	1880,2171	-3454,3974	3454,397409
23	715710,61	2,6464	110471,1	1783,5986	1999,0752	-5453,4726	5453,472606
24	711058,49	2,8217	110471,1	1895,9349	2124,9828	-7578,4554	7578,455357
25	706436,61	3,0086	110471,1	2014,9337	2258,3578	-9836,8132	9836,813168

Fonte: Autoria própria.

No fim dos 25 anos foi possível obter uma economia considerável no valor de 2,25 milhões de reais, conforme a figura 29.

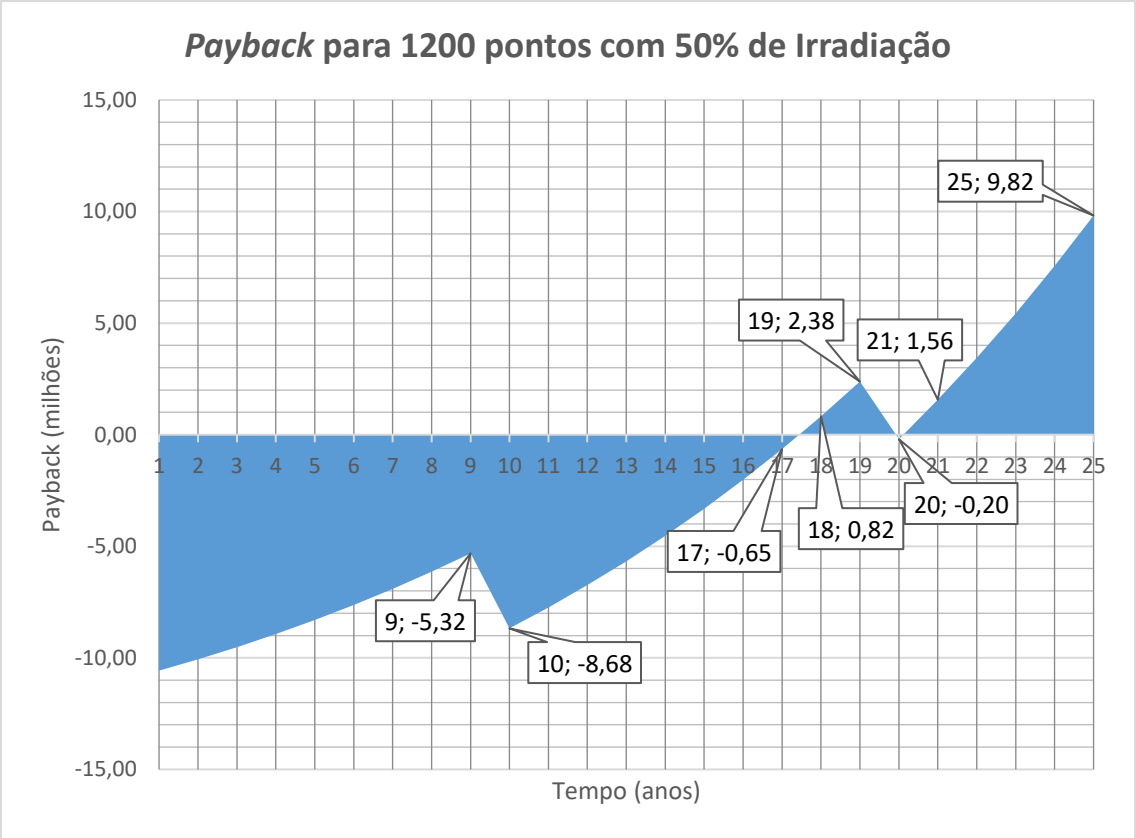


Figura 34 - *Payback* para 1200 pontos de ônibus que quase não recebem sol aplicando o custo evitado no tesouro nacional
Fonte: Autoria própria.

4.4.4. *Payback* para os 3600 Pontos

Quando se analisa todo o sistema proposto investindo o custo evitado total no tesouro nacional se obtém os valores apresentados na tabela 37:

Tabela 41 - *Payback* em milhões de reais para os 3600 pontos investindo o custo evitado no tesouro direto

Ano	50%	75%	100%	Total
1	-10,57	-10,27	-9,98	-30,82
2	-10,06	-9,45	-8,83	-28,35
3	-9,52	-8,57	-7,62	-25,70
4	-8,93	-7,62	-6,32	-22,87
5	-8,30	-6,62	-4,94	-19,86
6	-7,63	-5,55	-3,47	-16,64
7	-6,91	-4,41	-1,90	-13,22
8	-6,14	-3,19	-0,24	-9,56
9	-5,31	-1,89	1,53	-5,67
10	-8,68	-4,75	-0,83	-14,26

11	-7,74	-3,28	1,17	-9,85
12	-6,74	-1,72	3,30	-5,15
13	-5,67	-0,05	5,57	-0,15
14	-4,53	1,72	7,97	5,16
15	-3,31	3,61	10,52	10,82
16	-2,02	5,61	13,24	16,83
17	-0,64	7,74	16,12	23,22
18	0,83	10,00	19,18	30,01
19	2,39	12,41	22,43	37,22
20	-0,19	10,72	21,63	32,15
21	1,57	13,43	25,29	40,29
22	3,45	16,31	29,17	48,94
23	5,45	19,37	33,29	58,12
24	7,58	22,62	37,67	67,87
25	9,84	26,07	42,31	78,22

Fonte: Autoria própria.

O tempo para se obter a amortização dos gastos não foi alterado quando se investiu o dinheiro do custo evitado no tesouro nacional, porém o dinheiro economizado no fim dos 25 anos aumentou consideravelmente, alcançando o valor de 12 milhões de reais. Conforme a figura 30:

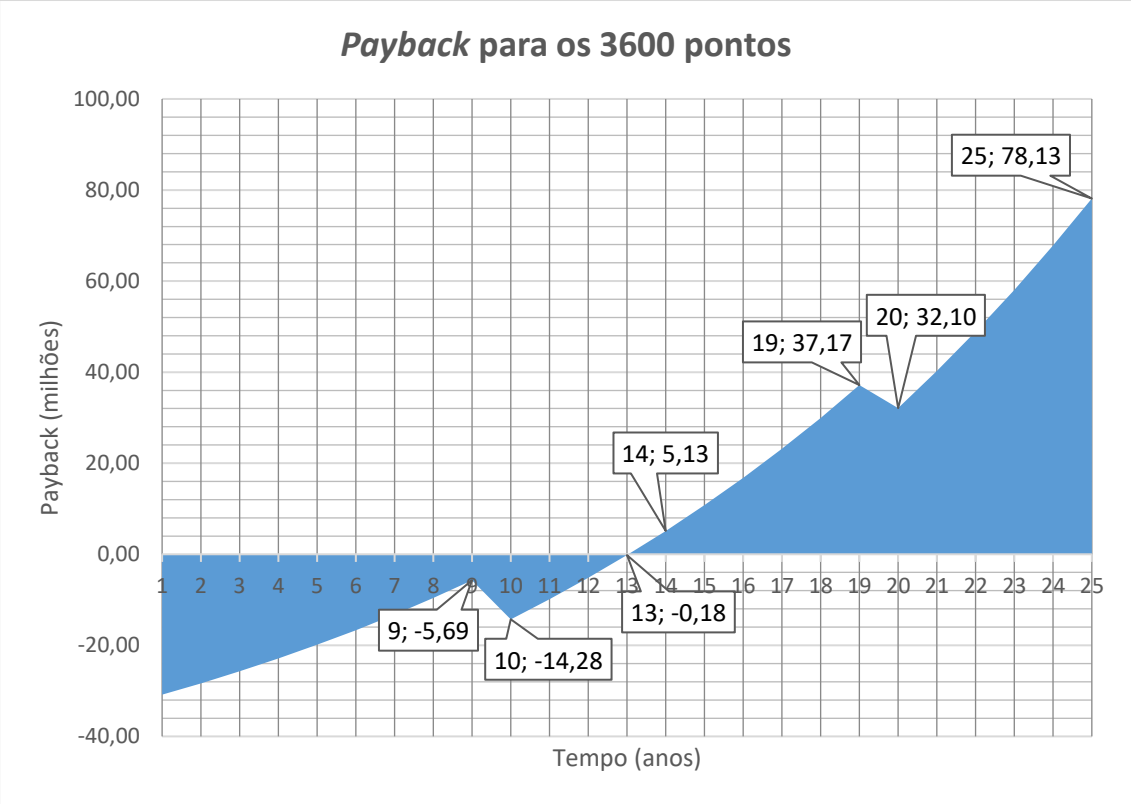


Figura 35 - *Payback* para os 3600 pontos de ônibus investindo o dinheiro do custo evitado no tesouro nacional
Fonte: Autoria própria.

4.4.5. *Payback* para os 2400 Pontos

Também foi calculado o tempo para se amortizar os gastos quando se instala o sistema nos dois grupos que possuem um maior rendimento e aplicando o valor do custo evitado no tesouro nacional, os valores obtidos encontram-se na tabela 38.

Tabela 42 - *Payback* em milhões de reais para os 2400 pontos investindo o custo evitado no tesouro nacional

Ano	75%	100%	Total
1	-10,27	-9,98	-20,25
2	-9,45	-8,83	-18,28
3	-8,57	-7,62	-16,18
4	-7,62	-6,32	-13,94
5	-6,62	-4,94	-11,56
6	-5,55	-3,47	-9,02
7	-4,41	-1,90	-6,31
8	-3,19	-0,24	-3,42
9	-1,89	1,53	-0,36
10	-4,75	-0,83	-5,58
11	-3,28	1,17	-2,11
12	-1,72	3,30	1,59
13	-0,05	5,57	5,52
14	1,72	7,97	9,69
15	3,61	10,52	14,13
16	5,61	13,24	18,85
17	7,74	16,12	23,86
18	10,00	19,18	29,18
19	12,41	22,43	34,83
20	10,72	21,63	32,34
21	13,43	25,29	38,72
22	16,31	29,17	45,48
23	19,37	33,29	52,67
24	22,62	37,67	60,29
25	26,07	42,31	68,38

Fonte: Autoria própria.

É possível diminuir o tempo de amortização dos gastos em um ano quando se investe o dinheiro do custo evitado no tesouro nacional, e também obter uma economia de 9,75 milhões de reais. Conforme a figura 31:

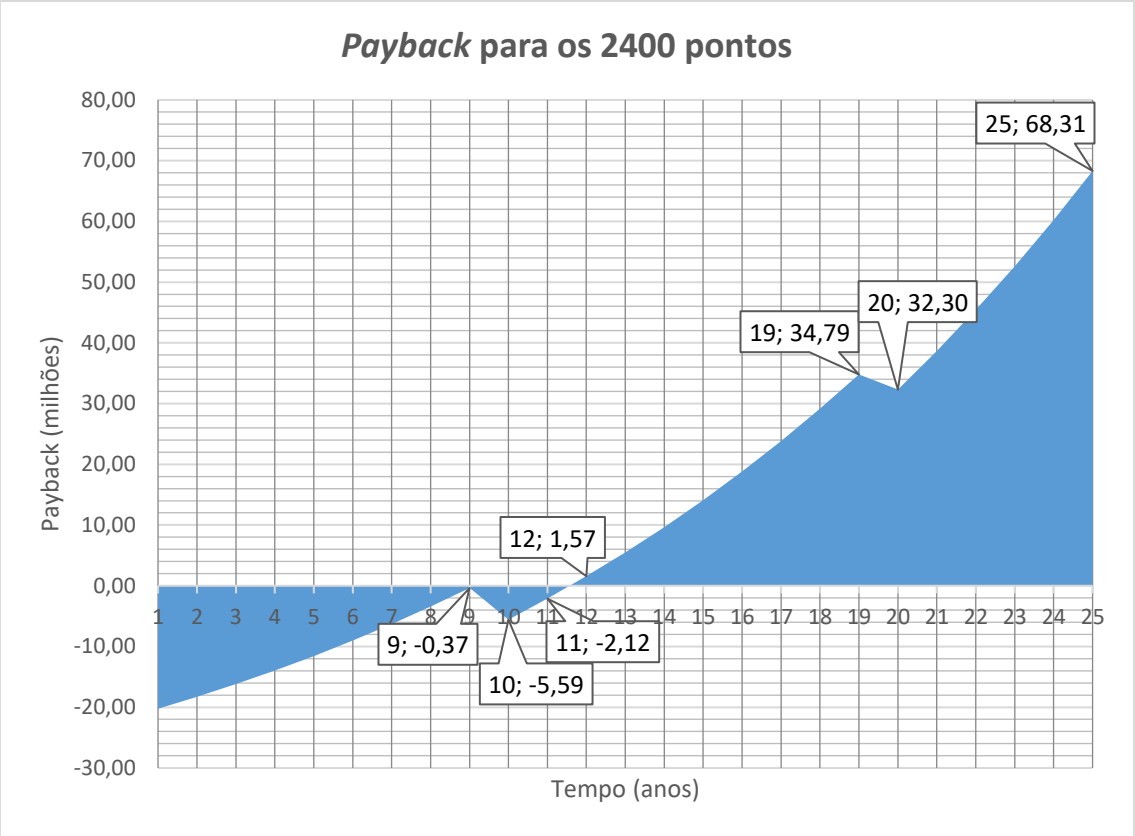


Figura 36- *Payback* para os 2400 pontos de ônibus investindo o dinheiro do custo evitado no tesouro nacional
Fonte: Autoria própria.

5. CONCLUSÃO

O constante aumento da demanda de energia elétrica no mundo todo faz com que seja necessário investir cada vez mais na geração de energia elétrica, onde a procura por fontes alternativas se faz cada vez maior. Procuram-se fontes que sejam renováveis e que tenham pouco impacto ao meio ambiente, mas que ao mesmo tempo seja viável financeiramente, visto que é necessário que haja viabilidade econômica para a implantação destas novas formas de geração de eletricidade.

Dentro desta perspectiva, a energia solar apresenta bom potencial no Brasil, apesar de ainda ser pouco explorada. No município de Curitiba, local onde o estudo foi realizado, constatou-se que há ótimas condições para a instalação de um sistema de geração solar fotovoltaica, podendo gerar quantidade considerável de energia elétrica durante o ano todo.

Escolheu-se então realizar o estudo analisando a possibilidade de implantar painéis fotovoltaicos na cobertura dos pontos de ônibus da cidade, pois são espaços que não são utilizados e somando todas essas pequenas áreas é obtido um grande espaço.

O sistema fotovoltaico deste estudo está conectado à rede elétrica, portanto foi necessário observar as normas e legislações específicas para este caso. Neste trabalho, os 3600 pontos de ônibus da cidade foram divididos em três casos. Para os primeiros 1200 pontos foi considerado o caso ideal, onde não existe sombreamento causado por árvores ou construções ao redor. Para o segundo grupo foi considerado que existe um sombreamento parcial não permitindo que o sistema funcione com 100% de aproveitamento. Para os últimos 1200 pontos foi considerado que os pontos recebem sol em pouquíssimo tempo do dia, fazendo com que o rendimento do sistema caia pela metade.

Foi analisado o tempo de retorno do investimento de cada um desses casos separadamente, e após obter esses resultados, foi possível analisar o tempo de amortização dos gastos se fosse implantado esse sistema em todos os 3600 pontos de ônibus de Curitiba e também se fosse implantado apenas

nos 2400 pontos correspondente ao primeiro e segundo cenário. Foi possível perceber também que quanto maior o valor da tarifa, menor será o tempo de *payback* e maior será o valor economizado com energia no final do período de tempo analisado.

Foi feita também duas simulações investindo o dinheiro correspondente ao custo evitado de cada ano na poupança e também no tesouro nacional, com isso foi possível diminuir um ano no tempo de amortização dos gastos e também chegar a um valor de economia consideravelmente maior no final dos 25 anos. Entre as duas opções, investir no tesouro nacional obteve um resultado melhor.

Através dos cálculos realizados foi possível perceber que as melhores opções seriam implantar o sistema apenas nos 1200 pontos que não possuem construções que podem causar sombreamento, ou nos 2400 pontos que corresponde aos dois melhores grupos, ambas investindo o dinheiro do custo evitado no tesouro nacional.

Para este primeiro caso, o custo para implantar o sistema seria de 11,047 milhões de reais, mas esse gasto seria abatido no décimo primeiro ano e no fim dos 25 anos a economia com seria de 42,27 milhões de reais. Já para o caso de implantar esse sistema nos 2400 pontos o gasto inicial seria de 22,094 milhões de reais, mas esse gasto seria abatido no décimo segundo ano, e no fim dos 25 anos a economia obtida seria de 68,31 milhões de reais.

É importante ressaltar que os valores não foram corrigidos monetariamente com o passar dos anos, pois, foi considerado que o investidor já possuí o dinheiro necessário para implantar o sistema, ou seja, não será necessário realizar qualquer empréstimo que acarretaria em juros a ser pago todo o ano

Concluiu-se que Curitiba tem ótimo potencial de geração de energia solar, quando comparada a outras regiões no mundo que fazem bom aproveitamento dessa energia. Acredita-se que a utilização de geração fotovoltaica em grandes consumidores na região de Curitiba seja viável economicamente. Faz-se necessário um estudo mais aprofundado em relação

ao número de pontos que realmente são expostos ao sol o dia todo, já que neste trabalho foi feita uma aproximação.

Um outro meio de reduzir o tempo de amortização dos gastos com a implantação deste sistema seria buscar patrocinadores para o projeto. Esta opção seria vantajosa para os dois lados, já que os patrocinadores poderiam divulgar através de propagandas que envolveria o nome da marca em um projeto que ajudará a cidade a retomar o posto de capital ecológica, e o investidor reduziria o desembolso próprio e consequentemente ocorreria a diminuição do tempo de retorno financeiro.

A condição de viabilidade pode variar dependendo do interesse do investidor que deseja implantar esse sistema, principalmente no que diz respeito ao tempo de investimento, pois o investidor poderá exigir diferentes prazos para recuperar o capital investido, tornando o sistema viável ou não.

REFERÊNCIAS

ABREU, Y. V. et al. Energia, Economia e Rotas Tecnológicas – Textos Selecionados. Palmas – TO. 2010. Disponível em: <www.eumed.net/librosgratis/ 2010e/827/> Acesso em: 06 de Novembro de 2016.

ANNEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Atlas de energia elétrica do Brasil, 2ª edição – Brasília, 2005

BARBOSA, Wilson Pereira; AZEVEDO, Abílio César Soares. “Geração Distribuída: vantagens e desvantagens” II Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia, 2014.

BENEDITO, Ricardo da Silva. “Caracterização da geração distribuída por meio de Sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório” Tese de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia - USP, São Paulo, 2009.

BRASENERGY, “Inversor Solar: O Coração do Seu Sistema Fotovoltaico.”, 2017. Disponível em: < http://brasenergy.solar/inversor-solar/#n5>. Acesso 20 de maio de 2017.

CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. “Energia solar princípios e aplicações”. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em 01 de maio de 2016.

CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, 2014. Disponível em:
<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_201 4.pdf>. Acesso 15 em outubro de 2016.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira”, 2012. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012 .pdf>. Acesso em 20 de maio de 2017

FOCAÇA, Jennifer Rocha Vargas. “Energia Limpa”; *Brasil escola.* Disponível em: <http://brasilescola.uol.com.br/quimica/energia-limpa.htm>. Acesso em 03 de maio de 2016.

FREITAS, Fábio E. Célula Solar se SNO2/TIO2 Preparada por "Spray" - Pirólise Ativada com Corante Orgânico. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP. 2006.

HOBMEIR, L. “Metodologia para estudo da viabilidade econômica de implantação de painéis fotovoltaicos em indústria – estudo de caso” Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2015.

INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética< http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp?Cat=gd> Acesso em 06 de novembro de 2016.

LUX ENERGY, Eficiência Energética. “Energia Solar Fotovoltaica – Geração Distribuída”. Curitiba, 2017.

NASCIMENTO, C. “Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica” Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

NEOSOLAR, Disponível em: < http://www.neosolar.com.br/blog/as-novas-regras-da-aneel-para-a-mini-e-microgeracao/>. Acesso em 21 de novembro de 2016.

OLADE. Organización Latinoamericana de Energía “Curso de La Generacíon Distribuida” <http://www.olade.org/elearning>. Acesso em 09 de outubro de 2016.

SHALÍMOVA, K.V. Fisica de los Semiconductores. 1a edicao, Moscu. Editora

Mir. 1975. p. 225

SHAYANI, R. A. Medição do rendimento global de um sistema fotovoltaico isolado utilizando módulos de 32 células. Universidade Nacional de Brasília. Brasília – DF. 2006. Disponível em: <repositorio.unb.br/bitstream/10482/2315/1/2006_RafaelAmaralShayani.pdf>. Acesso em 06 de novembro de 2016.

SILVESTRI, A.; TAKASAKI, VINÍCIUS “Estudo da viabilidade para implantação de geração fotovoltaica em shoppings centers na região de Curitiba”, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2014.

SOLAR BRASIL Disponível em: <http://www.solarbrasil.com.br/?gclid=CJjU3eqX_cECFfLm7Aod3RgAIw> Acesso em 20 novembro de 2016.

SOLAR ENERGY Disponível em: < http://solarenergy.com.br/2016/03/novas-regras-aneel-geracao-domestica-energia-solar/>. Acesso em 20 de novembro de 2016.

SOLARVOLT. Disponível em: <http://www.solarvoltenergia.com.br/kit-de-energia-solar-vida-util/>. Acesso em 20 de maio de 2017.

SUZUKI, Eime Veridiane; REZENDE, Fernanda Dutra – Estudo da Utilização da Geração Fotovoltaica para Auxiliar a Suprir a Demanda Crescente e Energia Elétrica no Brasil – Monografia de Especialização – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-CT), Curso de Especialização em Eficiência Energética. 2013.

TIEPOLO, G. “Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas 2015 fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná”, Tese de doutorado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), Curitiba, 2015.

TIEPOLO, G.; CANCIGLIERI, O.; URBANETZ, J.; VIANA, T.; PEREIRA, E. B. “Comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha”, V Congresso Brasileiro de Energia Solar – V CBENS, Recife, 2014.

URBANETZ, J. “Energia Solar Fotovoltaica e o Desempenho do SFVCR do Escritório Verde da UTFPR”, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), 2015.

URBANETZ, J. "Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade", Tese de doutorado -

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, 2010.

VALLÊRA, A. “Meio século de história Fotovoltáica” Faculdade de ciência da Universidade e Lisboa, Lisboa, 2006.

VIANA, T. “Energia Solar Fotovoltaica – Fundamentos e Aplicações – Parte 1” CEFET/RJ – 2014.

ANEXO I FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM POTÊNCIA IGUAL OU INFERIOR A 10 KW

FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM POTÊNCIA IGUAL OU INFERIOR A 10kW

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone:	Celular:	
CNPJ/CPF:		
2- Dados da Unidade Consumidora		
Carga instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão: monofásica	bifásica	trifásica
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica Solar Eólica Biomassa Cogeração Qualificada		
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração		
2. Diagrama unifilar contemplando Geração/Proteção(inversor, se for o caso)/Medição e memorial descritivo da instalação.		
3. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.		
4. Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg		
5. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012		
6. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)		
7. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)		
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____ Local	_____/_____/_____ Data	_____ Assinatura do Responsável

ANEXO II FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM POTÊNCIA SUPERIOR A 10 KW

FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM POTÊNCIA SUPERIOR A 10kW

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: ( )	Celular: ( )	
CNPJ/CPF:		
2 - Dados da Unidade Consumidora		
Potência instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão: monofásica	bifásica	trifásica
Tipo de ramal: aéreo	subterrâneo	
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica Solar Eólica Biomassa Cogeração Qualificada		
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração		
2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo		
3. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção		
4. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.		
5. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg		
6. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012		
7. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)		
8. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)		
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Area:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____ Local	_____/_____/_____ Data	_____ Assinatura do Responsável

ANEXO III ALTERAÇÕES TARIFÁRIAS

COPEL

Alterações Tarifárias

Clique no título da portaria ou resolução para ver seu conteúdo e os valores das tarifas em reais

Portaria / Resolução	Vigência	Variação Percentual
Resolução 2214/2017	01/05/2017	- Reversão da previsão do ERR de Angra III
Resolução 2096/2016	24/06/2016	- Reajuste médio aplicado de -12,87%
Resolução 1897/2015	24/06/2015	- Reajuste médio aplicado de 15,32%
Resolução 1858/2015	02/03/2015	- Reajuste médio aplicado de 36,79%
Resolução 1763/2014	24/06/2014	- Reajuste médio aplicado de 24,86%
Resolução 1565/2013	24/06/2013	- Reajuste médio aplicado de 9,55%
Resolução 1431/2013	24/01/2013	- Reajuste médio aplicado de -19,28%
Resolução 1296/2012	24/06/2012	- Reajuste médio aplicado de -0,65%
Resolução 1158/2011	24/06/2011	- Reajuste médio aplicado de 2,99%
Resolução 1015/2010	24/06/2010	- Reajuste médio aplicado de 2,46%
Resolução 839/2009	23/06/2009	- Reajuste médio aplicado de 12,98% para consumidores inadimplentes e de 5,00% para consumidores adimplentes
Resolução 663/2008	24/06/2008	- Reajuste médio aplicado de 0,04%.
Resolução 479/2007	24/06/2007 em diante	- Reajuste médio aplicado de - 1,27%.
Resolução 345/2006	24/06/2006 a 23/06/2007	- Reajuste médio aplicado de 3,3%.
Resolução 130a 2005(adimplentes)	01/08/2005 a 23/06/2006	- Para adimplentes, reajuste médio aplicado de 4,4% (desconto médio de 6,8% sobre a Resolução ANEEL 130/05)
Resolução 146a 2005(adimplentes) Resolução 130 Normal (inadimplentes) Resolução ANEEL 130/05	24/06/2005 a 31 de julho de 2005 24/06/2005 a 23/06/2006	- Para adimplentes, manutenção dos descontos para pagamentos em dia da Resolução 146a (adimplentes). - Para inadimplentes, tarifas da Resolução 130/05 Homologadas pela ANEEL (reajuste médio aplicado de 7,80%).
Resolução 146i (inadimplentes) Resolução 146a (adimplentes)	01/02/2005 a 23/06/2005	- Para inadimplentes foi cancelado o desconto. O reajuste médio é de 2,2% sobre as tarifas da Resolução 146i praticadas até janeiro de 2005. Serão aplicadas as tarifas da Resolução ANEEL 146/04, de 21 de junho de 2004, sem desconto. - Para adimplentes o desconto médio passa a ser de 8,20%, sobre as tarifas da ANEEL 146/04, de 21 de junho de 2004. O reajuste médio é de 5,0% sobre as tarifas da Resolução ANEEL 146a aplicadas até janeiro de 2005, resultando num reajuste médio aplicado de 14%.

ANEXO IV TARIFCA CONVENCIONAL – SUBGRUPO B3

COPEL

Tarifa Convencional - subgrupo B3

Tarifas vigentes para clientes do subgrupo B3 enquadrados na Modalidade Tarifária Convencional.

CONVENCIONAL	Resolução ANEEL Nº 2.096, de 21 de junho de 2016	
Tarifa em R$/kWh	Resolução ANEEL(*)	com Impostos: ICMS e PIS/COFINS
B3 - Demais Classes Vigência em 24/06/2016	0,42147	0,64543

Voltar

Publicado em 04.07.16

Companhia Paranaense de Energia - COPEL - 14/05/2017