

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

ESCOLA NORMAL SUPERIOR

LICENCIATURA EM MATEMATICA

RONALDO JOEL RAPOSO DA CUNHA

**Comparação entre o custo e o benefício do uso da energia solar:
Estudo de caso em residências na cidade de Manaus.**

MANAUS, 2019

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

ESCOLA NORMAL SUPERIOR

LICENCIATURA EM MATEMATICA

RONALDO JOEL RAPOSO DA CUNHA

**Comparação entre o custo e o benefício do uso da energia solar:
Estudo de caso em residências na cidade de Manaus.**

*Trabalho de Conclusão do Curso elaborado junto às
disciplinas TCC I e TCC II do Curso de Licenciatura em
Matemática da Universidade do Estado do Amazonas
para a obtenção do grau de licenciado em Matemática.*

Orientador(a): Dra. Nadime Mustafa Moraes

MANAUS, 2019



GOVERNO DO ESTADO DO
AMAZONAS

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ata de Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura em Matemática da Escola Normal Superior-UEA de RONALDO JOEL RAPOSO DA CUNHA.

Aos 28 dias do mês de novembro de 2019, às 16:00 horas, em sessão pública na Sala Maria de Nazareth da Escola Normal Superior na presença da Banca Examinadora presidida pela professora da disciplina de Trabalho de Conclusão do Curso Me. Helisângela Ramos da Costa e composta pelos examinadores: **Dra Nadime Mustafa Moraes, Dr. Manoel Socorro Santos Azevedo e Me. Vanise dos Santos Rodrigues** o aluno **RONALDO JOEL RAPOSO DA CUNHA** apresentou o Trabalho: **“COMPARAÇÃO ENTRE O CUSTO E O BENEFÍCIO DO USO DA ENERGIA SOLAR EM UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE MANAUS.”** como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Licenciatura em Matemática. A Banca Examinadora deliberou e decidiu pela APROVAÇÃO do referido trabalho, com o conceito 9,9 à monografia divulgando o resultado ao aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata.

Helisângela Ramos da Costa
Presidente da Banca Examinadora

Nadime Mustafa Moraes
Orientador (a)

Vanise dos Santos Rodrigues
Avaliador 1

Manoel Socorro Santos Azevedo
Avaliador 2

Ronaldo Joel R. da Cunha
Aluno

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Irradiação solar media e anual no Brasil entre 1999-2015.....	8
Figura 2: Tipos de tecnologia fotovoltaica e suas eficiências	9
Figura 3: Sistema fotovoltaico on grids.....	11
Figura 4 : Sistema fotovoltaico isolado (off grid).....	12

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5
1 REFERENCIAL TEÓRICO	7
1.1 Energia Solar	7
1.1.2 Irradiação Solar	7
1.1.3 Potência instalada de energia solar no Brasil	9
1.2 Macro e mini geração distribuída	10
1.3 Sistemas Fotovoltaicos	10
1.3.1 Sistemas ligados à rede (on grid)	10
1.3.2 Sistemas isolados ou autônomos (off grid)	11
1.3.3 Sistemas Híbridos	12
1.4 Modulo Fotovoltaico	12
1.4.1 Efeito Fotovoltaico	13
1.5 Equipamentos auxiliares	13
1.5.1 Controladores de carga	13
1.5.2 Baterias	13
1.5.3 Inversores	13
1.5.4 Sistema de regulamentação supervisão e controle	14
1.6 Payback Simples	14
1.7 Retorno sobre o investimento (ROI)	15
1.8 Sistema de compensação de energia	15
2 METODOLOGIA DA PESQUISA	16
2.1 Abordagem metodológica	16
2.2 Instrumento da coleta de dados	16
2.3 Procedimentos para análise de dados	17
3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	19
3.1 Sistema (I)	19
3.1.1 Payback simples do sistema (I)	19

3.1.2 ROI do Sistema (I)	20
3.2 Sistema (II)	21
3.2.1 Payback simples do sistema (II)	21
3.2.2 ROI do Sistema (II)	22
3.3 Sistema (III)	23
3.3.1 Payback simples do sistema (III)	23
3.3.2 ROI do Sistema (III)	24
4 RESULTADOS	25
CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS	29

INTRODUÇÃO

Desde que a distribuição de energia elétrica se tornou necessária para fornecer iluminação, no final do século 19, foram grandes os avanços e descobertas em geração e distribuição de energia elétrica. Atualmente, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2016 cerca de 76% da matriz elétrica mundial era gerada por fontes não renováveis, já no Brasil, durante o mesmo período, 82% da matriz elétrica vinha de fontes renováveis. Isto provém do fato de que, grande parte da matriz elétrica brasileira é constituída da geração vinda de usinas hidrelétricas (65,2%), uma fonte renovável, que causa grandes impactos ambientais na área onde é implementada.

Uma das grandes preocupações mundiais atualmente é com a geração de energia elétrica de forma sustentável, limpa e ecologicamente correta. Com isto, novas tecnologias para a geração de energia com este perfil estão surgindo, uma delas é a geração de energia por meio de módulos fotovoltaicos, popularmente conhecida como energia solar. Hoje, segundo dados do Operador Nacional do Sistema(ONS) (ONS, 2019), apenas 1,1% (1.780 MW) da matriz energética é composta por sistemas de geração fotovoltaica.

A energia fotovoltaica é proveniente da irradiação solar, que é uma fonte e inesgotável, o que eleva o seu potencial consideravelmente em países com uma boa irradiação solar durante o ano inteiro. Segundo o Centro de Referência para as energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito (CRESESB), a média anual de energia incidente na maior parte do Brasil varia entre 4kWh/m² e 5kWh/m²(CRESESB, 2012).

Segundo a EPE, o setor residencial corresponde a 9,7% do consumo de eletricidade no Brasil (EPE, 2017) e vem demonstrando certa heterogeneidade no perfil de consumo das famílias, com cerca de 63% das gerações de energia desse certo provinda de fonte renováveis. Famílias de renda mais alta aumentaram o consumo de fontes modernas, como a energia gerada por painéis fotovoltaicos, mas por ser uma tecnologia relativamente nova, não se sabe ao certo até que ponto a sua utilização é viável pensando no custo benefício de sua implementação.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo geral apresentar uma comparação entre o custo e o benefício do uso da energia gerada por painéis fotovoltaicos em três residências no município de Manaus, com um valor de fatura médio de R\$100,00; R\$300,00; R\$1000,00.

Dentre os objetivos específicos a proposta pretende selecionar três residências em Manaus que utilizem painéis fotovoltaicos e tenha um valor de faturamento médio anterior à instalação do sistema fotovoltaico no valor de R\$100,00; R\$300,00; R\$1000,00, bem como, analisar o custo e o benefício do uso dessa tecnologia nas três residências, além disso, determinar em quanto tempo o investimento nesses sistemas será pago e por fim, determinar o percentual de lucro ou perda com esse investimento.

O presente trabalho está dividido em 4 capítulos. No capítulo 1 apresenta o referencial teórico que dará suporte a pesquisa, explanando sobre as condições da energia fotovoltaica no Brasil, além disso, descreve os componentes de um sistema fotovoltaico e seus respectivos tipos de ligação com as equações do Payback Simples e do Retorno Sobre o Investimento. O capítulo 2 apresenta os procedimentos metodológicos do trabalho mediante o uso do simulador América do Sol para gerar os dados utilizados na pesquisa. No capítulo 3 são apresentados os cálculos referentes ao estudo de caso sobre os três sistemas hipotéticos que se diferenciam inicialmente pelo valor médio da fatura de energia. No capítulo 4 são analisados e discutidos os resultados.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Energia Solar

A energia solar é a energia eletromagnética oriunda do Sol, segundo a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a maioria das fontes de energia são formas indiretas de energia solar, além disso, a energia solar pode também ser utilizada de forma direta como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica (BRASIL, 2005).

A exploração da energia solar é sem dúvidas, um fator de grande importância para a sociedade, a energia do sol é considerada como inesgotável do ponto de vista humano.

O potencial da energia solar é excepcional em comparação com todas as outras fontes de energia pois ela é uma fonte de energia limpa e que não causa danos a natureza ao gerar energia elétrica por ser uma fonte de energia renovável baseada no Sol. A energia solar tem um grande aproveitamento como fonte de calor e luz sendo uma das mais aproveitáveis e promissoras formas de gerar energia no mundo. A transformação de energia solar em energia elétrica por meio de módulos fotovoltaicos é uma das potências tecnológicas que podem, em um futuro muito próximo, substituir a utilização de combustíveis fósseis dada a preocupação em combater as emissões de gases do efeito estufa e a provável escassez de tais combustíveis não renováveis.

1.1.2 Irradiação solar

Segundo o Centro de Referência para as energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito (CRESESB), o total de energia solar que incide na superfície da terra em um ano é superior a 10.000 vezes o consumo anual de energia bruta da humanidade (CRESESB, 2012), e é por causa dessa tamanha energia provinda do Sol que a utilização da energia solar fotovoltaica tem grande potencial.

A Figura 1 ilustra a irradiação solar média diária e anual no Brasil entre 1999-2015, em kWh/m², regiões mais escuras representam áreas com maior irradiação, como se pode ver na figura.

Na figura 1 observa-se que a menor irradiação solar diária no Brasil é de 4.2 kWh/m², o que é consideravelmente maior que a irradiação em um dos países líderes em energia solar per capita do mundo, a Alemanha, que possui uma irradiação solar diária máxima de cerca de 3.2 kWh/m² (SOLARGIS, 2019).

Figura 1 – irradiação solar media e anual no Brasil entre 1999-2015.



Fonte: (SOLARGIS, 2019)

A media de irradiação solar na cidade de Manaus, como ilustra a figura, é de 5.0 kWh/m², o que proporciona excelentes condições para a instalação de modulos fotovoltaicos.

Segundo Vieira(2010)

Entre os materiais mais adequados para a conversão da irradiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula, que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25%. (VIEIRA, 2010, p.39)

A Figura 2 ilustra a tecnologia do painel fotovoltaico e a eficiência de conversão para energia elétrica das células e dos módulos. Observa-se que o

rendimento na captura é relativamente baixo e que a tecnologia enfrenta grandes barreiras nesse sentido.

Figura 2 – Tipos de tecnologia fotovoltaica e suas eficiências

PV Technology		Cell Conversion Efficiency	Module Conversion Efficiency
Crystalline	Monocrystalline Silicon (Si)	25.0%	14% - 16%
	Multicrystalline Si	21.3%	14% - 16%
	Gallium Arsenide (GaAs)	27.5 - 29.1%	N/A
Thin Film	Amorphous Si (a-Si)	13.6%	6% - 9%
	Cadmium Telluride (CdTe)	22.1%	9% - 12%
	CIS / CIGS	22.3%	8% - 14%

Fonte: <http://css.umich.edu/factsheets/photovoltaic-energy-factsheet> acesso em: 15/04/2019

Apesar da baixa eficiência encontrada nos dispositivos, o custo da tecnologia vem diminuindo e, no período de 2009 a 2017, o custo de produção do MWh reduziu de \$ 304,00 para somente \$ 76,00, uma redução de 72%. Isso é devido em grande parte ao “boom” chinês no investimento em energia solar, que investiu 86 bilhões de dólares neste tipo de geração de energia em 2017 e respondeu por mais da metade do investimento neste tipo de tecnologia no mundo, que foi de 160,8 bilhões. Para efeitos comparativos, o Brasil investiu em 2017 o equivalente a 2,1 bilhões de dólares em energia solar. (IEA, 2017)

1.1.3 Potência instalada de energia solar no Brasil

Como já foi visto no tópico anterior, o Brasil possui grande potencial ao utilizar a energia solar fotovoltaica(FV), porém, atualmente, segundo dados do Operador Nacional do Sistema(ONS), apenas 1,1% (1.780 MW) da matriz energética é composta por sistemas de geração fotovoltaica (ONS, 2019).

Segundo a ANEEL, o Brasil possui no total 7.417 empreendimentos em operação, totalizando 163.719.467 kW de potência instalada, sendo 2.465 desses empreendimentos (totalizando 2.068.719 kW) pertencentes a energia solar fotovoltaica (ANEEL, 2019), o que demonstra um grande número de empreendimentos de pouca geração, a micro e mini geração de energia solar fotovoltaica que serão abordadas em tópicos seguintes.

Existem, segundo a ANEEL, 153 empreendimentos em construção dos quais 14 são de energia solar FV totalizando 7.701.247 kW de potência sendo 376.912 kW de energia solar FV, e outros 423 empreendimentos com construção não iniciada que iram prover futuramente mais 1.355.638 kW de potência instalada (ANEEL, 2019).

1.2 Macro e mini geração distribuída

De acordo com o Caderno Temático ANEEL sobre Micro e Minigeração distribuída:

A micro e a minigeração distribuída consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Para efeitos de diferenciação, a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 quilowatts (kW), enquanto que a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 megawatt (MW). (ANEEL, 2014, p. 11)

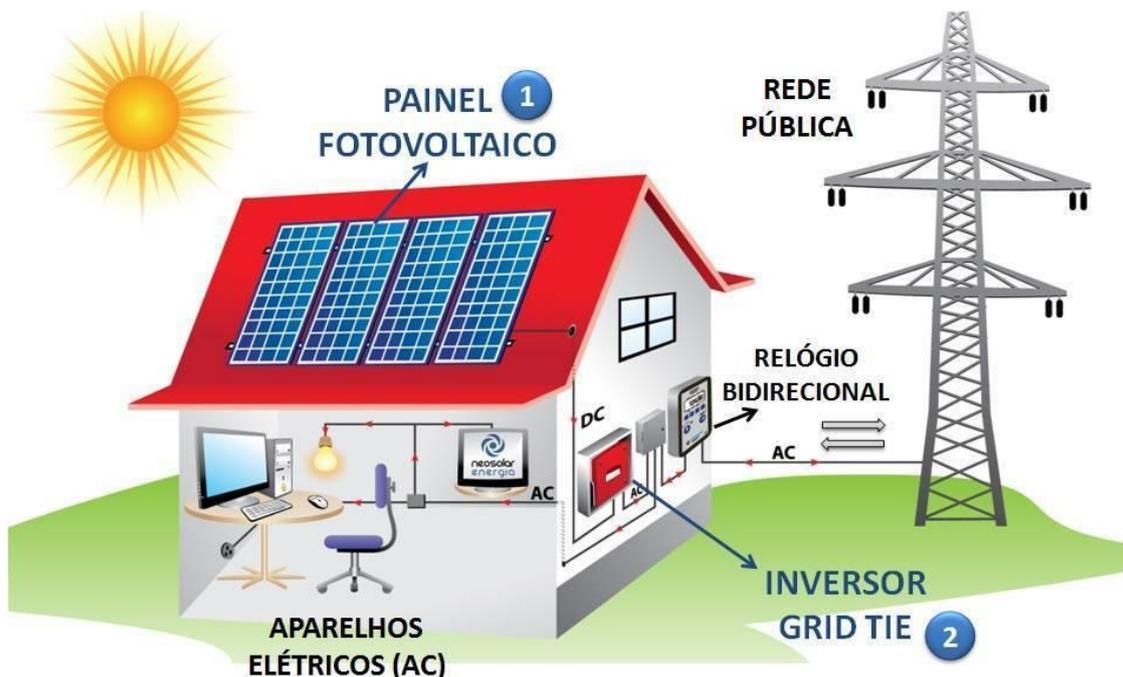
A regulamentação dessas micro e mini gerações distribuídas ocorreu em 2014 pela ANEEL, de modo a incentivar a geração distribuída de pequeno porte justificando-se pelos potenciais benefícios que tal geração pode trazer ao sistema elétrico como, segundo a ANEEL, a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a redução de perdas e a diversificação da matriz energética, entre outros (ANEEL, 2014).

1.3 Sistemas Fotovoltaicos

1.3.1 Sistemas ligados à rede (on grid)

São aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica. (PEREIRA& OLIVEIRA, 2013). A Figura 3 ilustra o sistema fotovoltaico on grid.

Figura 3: Sistema fotovoltaico on grid



Fonte: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes> acessado em: 11/03/2019

1.3.2 Sistemas isolados ou autônomos (off grid)

Com custos mais elevados que os sistemas on grid, os sistemas isolados são caracterizados por não serem conectados à rede elétrica, ou seja, o sistema se auto sustenta por meio da utilização de baterias. O sistema off grid é mais utilizado em locais remotos como casas de campo, bombeamentos de água, eletrificação de cercas e etc conforme ilustrado na figura 4.

A energia produzida é também armazenada em baterias, que por sua vez garantem o funcionamento do sistema em períodos com pouco, ou mesmo ausentes, de luz solar, como dias nublados ou à noite. Devido ao fato de as baterias serem a única fonte alternativa de energia para momentos ausentes de luz solar, é preciso dimensioná-las levando em consideração as características climáticas do local e a demanda de energia sobre o sistema.

Figura 4: sistema fotovoltaico isolado (off grid).



Fonte: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes> acesso em: 11/03/2019

1.3.3 Sistema Híbridos

A associação de sistemas fotovoltaicos com demais fontes de energia fundamenta-se no sistema híbrido. O seu maior benefício é proporcionar eletricidade (armazenada nas baterias), na privação de sol, ou seja, em dias de baixa, ou nenhuma, geração. No entanto, é apontado como um sistema complexo, já que necessita integrar diversas formas de produção de energia elétrica, como motores à diesel ou gás, ou por geradores eólicos (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

1.4 Módulo fotovoltaico

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

1.4.1 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é o efeito fotoelétrico caracterizada pela produção de uma corrente eléctrica entre duas partes de material diferente, que estão em contato e expostos a luz ou radiação eletromagnética em geral.

O efeito fotovoltaico consiste em converter a luz solar em energia eléctrica por meio de células fotovoltaicas. Estas células são feitas a partir de dispositivos semicondutores de silício com adição de impurezas de certos elementos químicos.

1.5 Equipamentos auxiliares

Para o funcionamento de um sistema fotovoltaico é necessário a instalação de equipamentos auxiliares em conjunto com os módulos. Esses componentes atuarão, principalmente, no processo de armazenamento e distribuição da energia eléctrica gerada, sendo diferenciados de acordo com o tipo de sistema implantado, se on grid ou off grid.

1.5.1 Controladores de carga

Este componente é geralmente utilizado em sistemas isolados (off grid), ou seja, que empregam o uso de baterias para o armazenamento de energia. De acordo com Pereira & Oliveira (2011), os controladores de carga têm como principal função proteger os acumuladores, isto é, as baterias de sobrecargas do sistema. Além disso, se bem regulados, asseguram que o sistema opere em sua máxima eficiência.

1.5.2 Baterias

As baterias são mais utilizadas em sistemas isolados, para armazenar a energia eléctrica gerada pelos módulos, com o intuito de suprir a demanda de energia quando houver ausência de radiação solar, ou seja, em períodos noturnos ou em dias nublados.

1.5.3 Inversores

De acordo com Pereira & Oliveira (2011), a energia eléctrica na saída dos módulos fotovoltaicos é em corrente contínua (CC). Isto inviabiliza a sua utilização direta na maioria dos equipamentos que trabalham, somente, em corrente alternada (CA). Para a solução deste problema, empregam-se os inversores, capazes de

realizar a conversão desta tensão contínua para um valor de tensão em CA. Além disso, este equipamento é capaz de ajustar a frequência e nível de tensão gerada, para que o sistema possa ser conectado à rede pública, on grid, de acordo com as normas vigentes estabelecidas pela ANEEL.

1.5.4 Sistema de regulação supervisão e controle

O Sistema de Regulação Supervisão e Controle (SRSC) se trata de um gabinete que contém os reguladores, instrumentos, circuitos de supervisão e alarmes e diodos de bloqueio. Cabe ao SRSC emitir alarmes que indicam anormalidades do sistema, tais como condição de sobrecarga, baixa autonomia de energia e fusíveis interrompidos (RIBEIRO, 2012).

O SRSC deve ser projetado de modo a garantir o correto funcionamento do sistema, fazendo o gerenciamento das cargas, realizando ações de controle e, conseqüentemente, aumentando sua vida útil (RIBEIRO, 2012).

1.6 Payback Simples

O Payback considera-se apenas o retorno obtido através da economia que a instalação do sistema de geração irá proporcionar na fatura de energia do consumidor.

O Payback é calculado dividindo o investimento total pela economia anual, gerada pelo sistema, conforme a equação abaixo.

$$Pb = \frac{It}{E} \quad (1)$$

Onde:

Pb: Tempo de retorno de investimento (payback) dado em anos;

It: Investimento total do sistema em reais (R\$);

E : Economia proporcionada pelo sistema durante um ano em reais (R\$);

1.7 Retorno sobre o investimento (ROI)

Em finanças, retorno sobre o investimento (em inglês, return on investment ou ROI) é a relação entre a quantidade de dinheiro ganho (ou perdido) como resultado de um investimento e a quantidade de dinheiro investido.

O cálculo é simples: subtrai-se o ganho obtido a partir do investimento pelo investimento inicial e, em seguida, divide-se esse resultado pelo investimento, tendo como resultado final um percentual de ganho ou perda. A fórmula para a realização do cálculo é a seguinte:

$$\text{ROI} = (\text{Ganho obtido} - \text{Investimento inicial}) / \text{Investimento inicial} \quad (2)$$

1.8 Sistema de compensação de energia

Os sistemas fotovoltaicos on-grid hoje em dia no Brasil, desfrutam de um sistema de compensação para a energia produzido em excesso, a resolução normativa nº 687 da ANEEL diz:

III - sistema de compensação de energia elétrica: 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;(ANNEEL, 2015)

Ou seja, a energia excedida produzida pelo sistema é emprestada gratuitamente para a companhia de energia e, posteriormente quando necessário ela pode ser reutilizada. Este trecho da resolução é de suma importância e um grande incentivo para o ramo da energia solar, pois sem ela a grande maioria dos sistemas seria completamente inviável economicamente por demorar tempo demais para se pagarem.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

2.1 Abordagem metodológica

Segundo Prodanov (2013), a pesquisa científica é a realização de um estudo planejado, sendo o método de abordagem do problema o que caracteriza o aspecto científico da investigação. Sua finalidade é descobrir respostas para questões mediante a aplicação do método científico. Neste sentido, esta pesquisa segue um caráter quantitativo, tendo em vista que a partir dos dados gerados pelo simulador e com a utilização dos modelos matemáticos escolhidos será possível estimar se há ou não um bom custo benefício ao investir em um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede elétrica na cidade de Manaus.

2.2 Instrumentos de coleta de dados

Os dados para os modelos matemáticos serão gerados pelo **simulador Solar da América do sol**, que pode ser encontrado no site <http://americadosol.org/simulador/>, este Simulador Solar foi criado em uma parceria entre o Instituto Ideal e a Cooperação Alemã para o desenvolvimento sustentável, no âmbito do Programa América do Sol e tem como objetivo dar ao consumidor a possibilidade de se familiarizar com termos e fatores que devem ser considerados para a instalação de um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede elétrica. Ao realizar uma simulação, o usuário terá ideia da potência necessária para atender a demanda energética de uma edificação residencial, comercial ou industrial (AMERICA DO SOL, 2019)

O Simulador está programado para simular geradores de até 5000 kWp (5 MWp) de potência, visto que este é o limite estabelecido pela Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL para que possam ser conectados à rede de distribuição e participar do sistema de compensação de energia.

O Simulador Solar prevê o abastecimento da demanda elétrica anual informada pelo usuário, descontando um consumo mínimo da rede elétrica que corresponde ao custo de disponibilidade.

Com relação aos módulos fotovoltaicos, a simulação considera:

- O uso da tecnologia de silício policristalino;
- A instalação voltada para o Norte e com uma inclinação ótima, ou seja, correspondente à latitude da localização escolhida.
- Sistema de compensação de energia elétrica segundo artigo III da resolução normativa n° 687.

Contudo, não considera:

- As condições da vizinhança do local informado (presença de árvores ou edificações próximas) que podem levar a uma redução da produção elétrica devido aos sombreamentos dos módulos.

Para realizar a simulação é necessário informar o consumo de energia elétrica médio anual, ou o consumo médio por mês dos últimos 12 meses e o seu tipo de ligação a rede elétrica, que pode ser monofásica, bifásica ou trifásica. A partir daí o simulador irá gerar as características do sistema fotovoltaico informando: capacidade do sistema, área ocupada, peso, produção anual estimada, quantidade de CO₂ que deixará de ser emitida, além de sugerir instaladores do sistema próximos da sua região.

2.3 Procedimentos para análise de dados

A geração de energia elétrica por meio de módulos fotovoltaicos sempre estará sujeita a perdas no processo e/ou limitações físicas, esses são efeitos característicos associados ao material ou a tecnologia.

O método utilizado nesse trabalho não considerará as especificidades ou a natureza das perdas utilizando o uso da tecnologia de silício policristalino que é o utilizado pelo simulador Solar da América e trabalhará apenas com o sistema on-grid (ligado à rede).

Para efeito de análise dos dados, será considerado que a vida útil dos painéis solares é de 25 anos e será desconsiderado a menor durabilidade de outros componentes como o inversor. Portanto, para efeitos financeiros, serão

desconsiderados os custos associados a manutenção ou troca de equipamentos neste período.

Os dados serão gerados pelo simulador Solar da América considerando uma ligação monofásica em 3 situações diferentes:

Sistema (I): Valor médio da fatura de energia igual a R\$100,00;

Sistema (II): Valor médio da fatura de energia igual a R\$300,00;

Sistema (III): Valor médio da fatura de energia igual a R\$1000,00;

A tarifa de energia considerada será a de R\$0,94/kWh, que é a tarifa cobrada, já com impostos, pela distribuidora de energia local, como o simulador não dá um orçamento do sistema, os orçamentos serão retirados do site da empresa NeoSolar (<https://www.neosolar.com.br/>), que possui uma “calculadora solar” para essa finalidade, essa calculadora dá uma estimativa de orçamento entre um a valor “x” e “y”, porém para utilizar nos cálculos será considerando apenas o de investimento máximo do orçamento. Ao utilizar esses 3 sistemas, tem-se uma noção da viabilidade para residências que gastam um valor monetário baixo, médio e alto com energia elétrica.

A partir disso serão trabalhados com a utilização dos modelos que serão abordados em seguida.

O simulador América do Sol será de grande importância para o trabalho pois, ele gerará toda a base de dados para utilização nos modelos que realizaram o cálculo para comprovar se realmente é viável a aquisição da energia solar nos dias atuais em Manaus.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Sistema (I)

Neste sistema, com um valor médio da fatura de energia igual a R\$100,00, levando em conta a tarifa de energia de R\$0,94kWh, obtêm-se um consumo de energia elétrica mensal de 106kWh e anual de 1272kWh. Segundo a NeoSolar, o investimento inicial máximo seria de R\$ 5.000,00 para financiar o sistema fotovoltaico. De acordo com o simulador América do Sol, tal sistema teria uma geração anual de 732kWh, ocuparia uma área entre 4 e 6m², uma potência de 600Wp e evitaria em torno de 214 kg/ano de emissões do gás CO₂.

Multiplicando a tarifa de energia com a geração anual do sistema, tem-se uma economia anual de R\$688,08, com uma média mensal de R\$57,34.

Economia anual = 0,94 x 732 = R\$688,08 (para simplificar os cálculos, arredondou-se para R\$688)

3.1.1 Payback Simples do Sistema (I)

A tabela 1 ilustra detalhadamente os resultados do cálculo do payback simples para o sistema (I) com relação ao investimento inicial máximo nos 25 anos de vida útil do sistema.

Tabela 1: Payback simples para a sistema (I)

Ano	Retorno	Investimento	Ano	Retorno	Investimento
0	0	-R\$5.000,00	11	R\$688,00	R\$2568,00
1	R\$688,00	-R\$4312,00	12	R\$688,00	R\$3256,00
2	R\$688,00	-R\$3624,00	13	R\$688,00	R\$3944,00
3	R\$688,00	-R\$2936,00	14	R\$688,00	R\$4632,00
4	R\$688,00	-R\$2248,00	15	R\$688,00	R\$5320,00
5	R\$688,00	-R\$1560,00	.	.	.
6	R\$688,00	-R\$872,00	.	.	.
7	R\$688,00	-R\$184,00	.	.	.
8	R\$688,00	R\$504,00	.	.	.
9	R\$688,00	R\$1192,00	.	.	.
10	R\$688,00	R\$1880,00	25	R\$688,00	R\$12200,00

Fonte: (AUTOR, 2019)

A tabela 2 ilustra um resumo do payback simples para o sistema (I). O valor do investimento total, a economia anual e o tempo de retorno do investimento, que foi obtido por meio do cálculo abaixo:

$$Pb = \frac{5000}{688} = 7,27 \text{ anos}$$

Tabela 2 :Resumo do payback para o sistema (I)

Investimento total em R\$	Economia anual em R\$	Retorno (Payback)	
		Ano	Meses
5000,00	688,00	7	4

Fonte: (AUTOR, 2019)

3.1.2 ROI do Sistema (I)

Com o tópico anterior, pode-se perceber que para o investimento no sistema (I) se pagar, seria necessário 7 anos e 4 meses, o que é um tempo muito bom tendo em vista que o tempo de vida útil de um sistema fotovoltaico é por volta de 25 anos.

Em seguida, será calculado o percentual de retorno para 10 e 25 anos após feito o investimento, com a equação do ROI.

- $ROI_{10} = \frac{6.880 - 5000}{5000} = 37,6 \%$

- $ROI_{25} = \frac{17.200 - 5000}{5000} = 244 \%$

3.2 Sistema (II)

Neste sistema, com um valor médio da fatura de energia igual a R\$300,00, levando em conta a tarifa de energia de R\$0,94kWh, obtêm-se um consumo de energia elétrica mensal de 319kWh e anual de 3828kWh. Segundo a NeoSolar, o investimento inicial máximo seria de R\$ 17.211,00 para financiar o sistema fotovoltaico. De acordo com o simulador América do Sol, tal sistema teria uma geração anual de 2929kWh, ocuparia uma área de 16 a24m², uma potência de 2,4kWp e evitaria em torno de 856kg/ano de emissões do gás CO₂.

Multiplicando a tarifa de energia com a geração anual do sistema, tem-se uma economia anual de R\$2753,26, com uma média mensal de R\$229,94.

Economia anual = 0,94 x 2929= R\$2753,26 (para simplificar os cálculos, arredondou-se para R\$2753).

3.2.1 Payback Simples do Sistema (II)

A tabela 3 ilustra detalhadamente os resultados do cálculo do payback simples para o sistema (II) com relação ao investimento inicial máximo nos 25 anos de vida útil do sistema.

Tabela 3: Payback simples para a sistema (II)

Ano	Retorno	Investimento	Ano	Retorno	Investimento
0	0	-R\$17.211,00	11	R\$2753,00	R\$13.072,00
1	R\$2753,00	-R\$14.458,00	12	R\$2753,00	R\$15.825,00
2	R\$2753,00	-R\$11.705,00	13	R\$2753,00	R\$18.578,00
3	R\$2753,00	-R\$8.952,00	14	R\$2753,00	R\$21.331,00
4	R\$2753,00	-R6.199,00	15	R\$2753,00	R\$24.084,00
5	R\$2753,00	-R\$3.446,00	.	.	.
6	R\$2753,00	-R\$693,00	.	.	.
7	R\$2753,00	R\$2.060,00	.	.	.
8	R\$2753,00	R\$4.813,00	.	.	.
9	R\$2753,00	R\$7.566,00	.	.	.
10	R\$2753,00	R\$10.319,00	25	R\$2753,00	R\$51.614,00

Fonte: (AUTOR, 2019)

A tabela 4 ilustra um resumo do payback simples para o sistema (II). O valor do investimento total, a economia anual e o tempo de retorno do investimento, que foi obtido por meio do cálculo abaixo:

$$Pb = \frac{17.211}{2753} = 6,25 \text{ anos}$$

Tabela 4 : Resumo do payback para o sistema (II)

Investimento total em R\$	Economia anual em R\$	Retorno (Payback)	
		Ano	Meses
17.211,00	2.753,00	6	3

Fonte: (AUTOR, 2019)

3.2.2 ROI do Sistema (II)

Com o tópico anterior, percebe-se que para o investimento no sistema (II) se pagar, seria necessário 6 anos e 3 meses, o que é um tempo ainda melhor comparado ao sistema (I).

Em seguida, será calculado o percentual de retorno para 10 e 25 anos após feito o investimento, com a equação do ROI.

- $ROI_{10} = \frac{27.530 - 17.211}{17.211} = 59,96\%$

- $ROI_{25} = \frac{75.900 - 17.211}{17.211} = 299,9\%$

3.3 Sistema (III)

Neste sistema, com um valor médio da fatura de energia igual a R\$1000,00, levando em conta a tarifa de energia de R\$0,94kWh, obtêm-se um consumo de energia elétrica mensal de 1064kWh e anual de 12768kWh. Segundo a NeoSolar, o investimento inicial máximo seria de R\$ 51.864,00 para financiar o sistema fotovoltaico. De acordo com o simulador América do Sol, tal sistema teria uma geração anual de 10741kWh, ocuparia uma área de 60 a 75m², uma potência de 8,8kWp e evitaria em torno de 3140kg/ano de emissões do gás CO₂.

Multiplicando a tarifa de energia com a geração anual do sistema, tem-se uma economia anual de R\$10.096,54, com uma média mensal de R\$841,38.

Economia anual = 0,94 x 10741 = R\$10.096,54 (para simplificar os cálculos, arredondou-se para R\$10.096).

3.3.1 Payback Simples do Sistema (III)

A tabela 5 ilustra detalhadamente os resultados do cálculo do payback simples para o sistema (III) com relação ao investimento inicial máximo nos 25 anos de vida útil do sistema.

Tabela 5: Payback simples para a sistema (III)

Ano	Retorno	Investimento	Ano	Retorno	Investimento
0	0	-R\$51.864,00	11	R\$10096,00	R\$59.192,00
1	R\$10096,00	-R\$41.768,00	12	R\$10096,00	R\$69.288,00
2	R\$10096,00	-R\$31.672,00	13	R\$10096,00	R\$79.384,00
3	R\$10096,00	-R\$21.576,00	14	R\$10096,00	R\$89.480,00
4	R\$10096,00	-R\$11.480,00	15	R\$10096,00	R\$99.576,00
5	R\$10096,00	-R\$1.384,00	.	.	.
6	R\$10096,00	R\$8.712,00	.	.	.
7	R\$10096,00	R\$18.808,00	.	.	.
8	R\$10096,00	R\$28.904,00	.	.	.
9	R\$10096,00	R\$39.000,00	.	.	.
10	R\$10096,00	R\$49.096,00	25	R\$10096,00	R\$200.536,00

Fonte: (AUTOR, 2019)

A tabela 6 ilustra um resumo do payback simples para o sistema (III). O valor do investimento total, a economia anual e o tempo de retorno do investimento, que foi obtido por meio do cálculo abaixo:

$$Pb = \frac{51.864}{10.096} = 5,15 \text{ anos}$$

Tabela 6: Resumo do payback para o sistema (III)

Investimento total em R\$	Economia anual em R\$	Retorno (Payback)	
		Ano	Meses
51.864,00	10.096,00	5	2

Fonte: (AUTOR, 2019)

3.3.2 ROI do Sistema (III)

Com o tópico anterior, percebe-se que para o investimento do sistema (III) se pagar, seria necessário 5 anos e 2 meses, superando assim os 2 sistemas anteriores e dando um indicativo de quanto maior for o valor da conta de energia, maior será o retorno do investimento ao longo do tempo.

Em seguida, será calculado o percentual de retorno para 10 e 25 anos após feito o investimento, com a equação do ROI.

:

- $ROI_{10} = \frac{100960 - 51.864}{51.864} = 94,7\%$

- $ROI_{25} = \frac{252.400 - 51.864}{51.864} = 386,6\%$

4 RESULTADOS

A partir dos dados gerados pelo simulador América do Sol foi possível obter as características dos sistemas on grid (I), (II) e (III), ou seja, a potência do sistema, área ocupada, produção anual estimada de cada sistema. Multiplicando a produção anual estimada com a tarifa de energia considerada de R\$0,94/kWh obteve-se a economia anual e dividindo essa economia anual por 12 (meses), determinou-se a economia média mensal que cada sistema proporcionará. Por ser um simulador, alguns fatores são desconsiderados pelo mesmo, como perda de eficiência, a menor durabilidade de outros equipamentos diferentes dos painéis fotovoltaicos e aumento da taxa de energia, portanto, também foram desconsiderados nos cálculos. Vale ressaltar que o simulador considera o sistema de compensação de energia estabelecido pela ANEEL na resolução normativa nº 687. Como o simulador América do Sol não dá um orçamento para o sistema, consultou-se os orçamentos da empresa NeoSolar para utilizar nos cálculos.

Diante desses dados, foram utilizadas as equações (1) e (2), a equação do Payback Simples determinou em quanto tempo cada investimento se pagaria e, por meio de tabelas, verificou-se os retornos anuais. A equação do R.O.I ficou a cargo de determinar o percentual de lucro ou perda dos investimentos ao fim da sua vida útil.

O Sistema (I) teve como ponto de partida para geração de dados um valor médio da fatura de energia igual a R\$100,00, segundo a NeoSolar, com esse sistema tem-se um investimento inicial máximo de R\$ 5.000,00 para financiar o sistema fotovoltaico. De acordo com o simulador América do Sol esse sistema tem uma produção anual estimada de 732kWh, com uma economia mensal de R\$57,34 e anual de R\$688,00. Portanto, o seu Payback Simples será de 7 anos e 4 meses, com um percentual estimado de lucro, ao fim de sua vida útil, de 244%, o que totaliza um valor de R\$12.200,00 economizados.

O Sistema (II) teve como ponto de partida para geração de dados um valor médio da fatura de energia igual a R\$300,00, segundo a NeoSolar, com esse sistema tem-se um investimento inicial máximo de R\$ 17.211,00 para financiar o sistema fotovoltaico. De acordo com o simulador América do Sol esse sistema tem uma produção anual estimada de 2929kWh, com uma economia mensal de R\$229,94 e anual de R\$2753,00. Portanto, o seu Payback Simples será de 6 anos e 3 meses, com

um percentual estimado de lucro, ao fim de sua vida útil, de 299,9%, o que totaliza um valor de R\$51.614,00 economizados.

O Sistema (III) teve como ponto de partida para geração de dados um valor médio da fatura de energia igual a R\$1000,00, segundo a NeoSolar, com esse sistema tem-se um investimento inicial máximo de R\$ 51.864,00 para financiar o sistema fotovoltaico. De acordo com o simulador América do Sol esse sistema teria uma produção anual estimada de 10741kWh, com uma economia mensal de R\$841,38 e anual de R\$10.096,54. Portanto, o seu Payback Simples será de 5 anos e 2 meses, com um percentual estimado de lucro, ao fim de sua vida útil, de 386,6%, o que totaliza um valor de R\$200.536,00 economizados.

Diante desses resultados relacionados aos sistemas e mesmo sabendo que os cálculos feitos desconsideram variáveis que poderiam influenciar nos resultados finais, perceber-se que quanto maior o valor do investimento para se instalar um sistema fotovoltaico em uma residência, mais rápido ele se pagará e após esse período serão anos de economia gastando o mínimo com faturas de energia.

Portanto, conclui-se que os benefícios que se terá ao instalar um sistema fotovoltaico em um residência, como a independência da distribuidora de energia no período que a luz solar estiver incidindo nas placas e anos de economia ao produzir a sua própria energia elétrica, compensam o alto custo que se terá com o investimento em todos os sistemas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo se constituiu de uma abordagem dedutiva da instalação de um sistema fotovoltaico on grid em três residências com ligação monofásica na cidade de Manaus, onde foram utilizadas as equações (1) e (2) que determinaram se há uma relação entre custo e o benefício satisfatória para que a implementação desse sistema seja economicamente viável.

Inicialmente a ideia era realmente buscar uma residência que possui-se um sistema fotovoltaico instalado para realizar este estudo, porém, diante da dificuldade de encontrar um voluntário que estivesse disposto a compartilhar seus dados para o estudo, foi escolhido então um simulador para gerar os dados, no caso, o simulador América do Sol, com ele e com os orçamentos da empresa NeoSolar se gerou toda a base de dados utilizada nas equações.

A escolha de analisar 3 sistemas foi justamente para perceber se a uma diferença na viabilidade com relação ao valor pago pela fatura de energia, então os sistemas (I), (II) e (III) estavam ligados, respectivamente, a valores de fatura de energia baixo, médio e alto.

Os dados gerados por esses 3 sistemas, com relação a valores monetários, foram utilizados nas equações (I) e (II), a equação para cálculo do Payback Simples, na qual calculou em quanto tempo o investimento iria se pagar e que também gerou uma tabela de Payback Simples anual. A equação do "ROI" (retorno sobre o investimento) calculou o percentual de lucro ou perda em cima do investimento em cada sistema.

Após esses cálculos se constatou que todos os sistemas são viáveis economicamente, pois, mesmo desconsiderando algumas variáveis que influenciariam nos cálculos, eles determinaram que os sistemas se pagariam em um excelente período de tempo, fazendo com que houvesse uma alta lucratividade no restante da vida útil do sistema instalado.

Vale ressaltar que os sistemas só são viavelmente econômicos por que o simulador considera a Resolução Normativa nº 687, que estabelece o sistema de compensação, na qual, para cada 1 kWh em excesso produzido pelo sistema é gerado um crédito de 1kWh com a companhia de energia que pode ser utilizado pelo

consumidor, por exemplo, durante a noite ou em dias nublados, ou seja, a energia produzida e não utilizada pela residência é enviada para a rede de energia e pode ser “reutilizada” quando for necessário.

Portanto, a não ser pelo fato de que não foi possível selecionar uma residência que fornecesse os dados de um sistema fotovoltaico, os objetos do projeto foram alcançados com a ajuda do simulador e dos orçamentos da NeoSolar.

Tem-se uma expectativa que a energia solar, como é comumente conhecida, possa ser a nossa futura principalmente fonte de geração de energia, mas para isso ela deve ser visada a partir de agora, logo, devem haver incentivos governamentais e publicidade para demonstrar sua viabilidade, com o passar do tempo e os incentivos necessários ela com certeza terá um custo barateado e uma viabilidade ainda maior.

Sendo assim, diante de todas as informações adquiridas ao longo desse projeto de graduação, sugere-se para realização de futuros trabalhos a utilização de dados reais se possível, o estudo das normas para microgeração (Resolução Normativa nº687 ou a mais atual), a comparação entre sistemas de geração de energia diferentes, como biogás, biomassa, eólica entre outras, a utilização de métodos mais refinados que consideram mais variáveis nos seus cálculos e refazer os mesmos procedimentos considerando o valor da taxa de energia atual(do ano que vai realizar a pesquisa) e levando em consideração uma perca anual de 0,5% na geração de energia elétrica, com relação ao ano anterior.

REFERÊNCIAS

AMÉRICA DO SOL. **SIMULADOR SOLAR**. 2019. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/simulador/>>. Acesso em: 12/03/2019

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Cadernos Temáticos ANEEL: Micro e Minigeração Distribuída**. 2014. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>>. Acesso em 08/03/2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia Solar Fotovoltaica: panorama, oportunidades e desafios**. 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/painel+3+ap+7+2017.10.19+ABSOLAR++Energia+Solar+Fotovoltaica++Dr.+Rodrigo+Lopes+Sauaia.pdf/54f8b161-751b-0639-bd04-77a60cac45c3>>. Acesso em: 09/03/2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. In: **BIG - Banco de Informação de Geração -Capacidade de Geração do Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 02/03/2019

BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Atlas de energia elétrica do Brasil. 2. ed. Brasília, 2002.

CRESESB.**Centro de referência para a energia solar e eólica Sergio de Salvo Brito**. 2012. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid\[\]=2&catid\[\]=5](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid[]=2&catid[]=5). Acesso em: 09/03/2019

CFSS. **“Photovoltaic Energy Factsheet”**.Universityof Michigan. 2018. Disponível em: <<http://css.umich.edu/factsheets/photovoltaic-energy-factsheet>>. Acesso em: 02/03/2019

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2018**. 2018.Disponivel em :<<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acessoem: 03/03/2019

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics 2017**. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

KASSAI, R. et al **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. São Paulo: Ed Atlas, 2000.

NEOSOLAR. **SIMULADOR SOLAR – CALCULADORA SOLAR**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica>. Acesso em: 20/10/2019

NEOSOLAR. **Sistema de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. 2013. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: 08/03/2019.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Capacidade instalada no SIN 2017/2022**. 2018. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em 10/03/2019.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RIBEIRO, C. H. M. **Implantação de um sistema de geração fotovoltaica**. 2012, 74 f. Monografia de Graduação de Engenharia de Controle e Automação – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro preto, 2012.

SOLARGIS. **GLOBAL SOLAR ATLAS**. 2019. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/>>. Acesso em: 03/03/2019

VIEIRA, Célio Sérgio. **Simulação de gerador solar fotovoltaico integrado à edificação e conectado à rede elétrica para suprir a demanda energética do aeroporto internacional Tancredo Neves - um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. 121 p

