



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Hugo Galúcio Pereira

**Potencial de uso da Energia Solar
Fotovoltaica na cidade de Manaus -
Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o
Desenvolvimento Sustentável do Setor
Energético Brasileiro**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação da

Professora Doutora Paula Varandas Ferreira

Abril de 2018

DECLARAÇÃO

Nome: Hugo Galúcio Pereira

Endereço eletrónico: hugogalucio@gmail.com Telefone: +353 830307312

Número do Bilhete de Identidade: Passaporte N° FO 727642

Título da dissertação: Potencial de uso da Energia Solar Fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

Orientador (es):

Orientadora Professora Doutora Paula Varandas Ferreira

Co-Orientador Professor Doutor José Carlos Reston Filho

Ano de conclusão: 2018

Designação do Mestrado: Mestrado em Engenharia Industrial

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respetiva, deve constar uma das seguintes declarações:

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
2. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO, APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, 30/04/2018.

Assinatura:



AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida;

À minha família, pelo amor incondicional;

À minha orientadora Professora Doutora Paula Varandas Ferreira, pela compreensão, incentivo, paciência e dedicação durante todo o processo de concepção e conclusão desta Dissertação;

Ao meu co-orientador Professor Doutor José Carlos Reston Filho, pelo acolhimento, orientação e encaminhamento;

Agradeço também de uma forma bastante especial aos professores da Universidade do Minho de Guimarães - Portugal, notadamente a Professora Doutora Maria Madalena, pelo carinho e dedicação às aulas ministradas, pelo incentivo em desenvolvermos a pesquisa científica, com diligência e perseverança;

Aos meus amigos e amigas presentes nessa caminhada, pela convivência, pelo aprendizado e por tantos momentos felizes que vivenciamos.

Senhor, fazei-me instrumento de vossa paz.

RESUMO

A região norte do Brasil inclui 07 estados federativos; Amazonas, Roraima, Rondônia, Acre, Amapá, Pará e Tocantins. Esta região representa cerca de 8,5% da população total do país, mas menos de 7% do consumo total de eletricidade, o que pode ser parcialmente explicado pelo menor desenvolvimento industrial da região. O governo brasileiro reconheceu a eletricidade como um direito do cidadão, promovendo o acesso a quase 15 milhões de pessoas desde o ano de 2003, no âmbito do programa "Luz para Todos". No entanto, partes consideráveis da Amazônia ainda não têm acesso a serviços elétricos, principalmente devido a longas distâncias e a aspectos geográficos desafiadores.

Este estudo tem como objetivo contribuir com essa temática, avaliando o potencial do uso da energia solar fotovoltaica distribuída em ambiente urbano. A pesquisa baseou-se em estudos de caso de unidades comerciais e residencial, cujos padrões de consumo diferem entre si. Para a análise, considerou-se o sistema *net metering* e as novas legislações vigentes, avaliando as relações de custo benefício dos sistemas e a sua respectiva viabilidade técnico-econômica. Com base nos resultados obtidos, tornou-se possível o entendimento da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede para a região metropolitana de Manaus, suas especificidades técnicas e econômicas e, principalmente, as implicações políticas em um cenário de franca expansão do mercado de energias renováveis no Brasil.

O atual quadro regulatório brasileiro para a micro e mini geração de energia, suportado num esquema de *net metering* é apresentado e o interesse econômico dos projetos fotovoltaicos é analisado. Os resultados demonstram que a implementação de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída poderá ser uma opção vantajosa para o futuro das famílias brasileiras. O sistema de distribuição de energia funcionaria assim como uma "bateria", o excesso de produção de eletricidade seria disponibilizado à rede, gerando créditos a serem abatidos nas faturas seguintes. Este sistema poderá ser assim considerado integrado na rede, funcionando em cooperação com a companhia de abastecimento elétrico da região. Entretanto, o alto investimento exigido e o longo período de recuperação ainda representam barreiras importantes para a implantação efetiva de pequenos sistemas fotovoltaicos.

PALAVRAS-CHAVE

Geração distribuída, Energia Solar, Sistema Fotovoltaico, Brasil, Avaliação de Projetos.

ABSTRACT

The northern region of Brazil includes 07 federative states; namely Amazonas, Roraima, Rondônia, Acre, Amapá, Pará and Tocantins. This region represents about 8,5% of the total population of the country but less than 7% of the total electricity consumption, which can be partially explained by the lower industrial development of the region. The Brazilian government has recognized electricity as a citizen's right, fostering access to almost 15 million people since 2003, under the "Light for All" program. However, considerable parts of the Amazon Region still do not have access to electricity services, notably due to long distances and challenging geographical aspects.

This study aims to contribute to this topic, evaluating the potential of photovoltaic solar energy use in urban environment. The research is based on case studies of commercial and residential units with different consumption patterns. The *net metering* system was considered along with the new Brazilian regulations, for evaluating the cost-benefit relationships of the systems and their respective technical-economic viability. Based on the results obtained, it became possible to understand the implantation of network-connected photovoltaic systems for the metropolitan region of Manaus, its technical and economic specificities, and especially the political implications in a scenario of large expansion of the renewable energy market in Brazil.

The current Brazilian regulatory framework for micro and mini-generation of energy, supported in a *net metering* scheme is presented and the economic interest of the photovoltaic projects are analysed. The results demonstrate that the implementation of photovoltaic systems for distributed generation units may be an interesting option for the future of the Brazilian families. Under this scheme, the distribution grid would work as a "battery", as the excess of photovoltaic electricity production would be made available to the grid and translated into credits to reduce the following invoices. This system may then be considered to be fully integrated into the grid, and it would work in cooperation with the electricity supply company of the region. However, the high investment required and the long recovery period still represents important barriers to the effective implementation of small photovoltaic systems.

KEYWORDS

Distributed generation, Solar Energy, Photovoltaic system, Brazil, Project Evaluation

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivo Geral	3
1.2.1 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Metodologia.....	4
1.4 Estrutura da dissertação	5
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1 Contextualização da Energia Fotovoltaica no Mundo.....	6
2.2 Incentivos ao desenvolvimento da energia fotovoltaica.....	12
2.3 Energia Fotovoltaica no Brasil	15
2.4 Aspectos Regulatórios da Energia Fotovoltaica no Brasil	20
2.4.1 Sistema Regulatório Brasileiro - Micro e Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica.....	21
2.5 A Região Norte do Brasil	23
2.5.1 O Estado do Amazonas – Aspectos Demográficos, Históricos e Geográficos.....	25
2.5.2 A importância da Energia fotovoltaica no Amazonas	26
2.6 Barreiras e Incentivos no Brasil.....	28
3. AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA	33
3.1 O Modelo <i>Net Metering</i>	33
3.2 Tecnologia Fotovoltaica	36
3.3 Caracterização dos Estudos de Caso	38
3.3.1 Radiação Solar ou Índice de Sol pleno da área urbana de Manaus.....	39

3.3.2	Valor da tarifa de energia praticado no Estado do Amazonas na Região Metropolitana de Manaus.....	41
3.3.3	Investimento por Watt pico (valor global dos equipamentos, incluindo projeto, frete, instalação e manutenção) para a cidade de Manaus	43
3.3.5	Unidade Residencial	45
3.3.6	Unidade comercial de pequeno porte - Escola CEIA	49
3.3.7	Unidade comercial de médio porte - Faculdade IDAAM.....	53
3.4	Dimensionamento dos Sistemas Solares fotovoltaicos dos Estudos de Caso	57
3.5	Análise da Viabilidade Econômica dos Sistemas Solares fotovoltaicos dos Estudos de Caso	59
4.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	65
4.1	Implicações do Estudo.....	68
4.2	Formulação de Políticas Públicas	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
	Anexo I – Mapa de Localização e Acesso da Região Metropolitana de Manaus.....	81
	Anexo II – Mapa de Localização da Unidade Residencial pertencente ao Condomínio Allegro Residencial Club.....	82
	Anexo III – Mapa de Localização da unidade comercial de Pequeno Porte, Escola CEIA – Centro de Educação Infantil Aliança.....	83
	Anexo IV – Mapa de Localização da unidade comercial de Médio Porte, Faculdade IDAAM.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: População total dos EUA, China, Japão, Europa, Índia e Brasil e seus respectivos cenários de crescimento até 2050. Fonte: EIA – U.S. Energy Information Administration. https://www.eia.gov/ , consultado em abril de 2018.	7
Figura 2.2: Capacidade de energia solar fotovoltaica no mundo e cenários de crescimento até o ano de 2050. Fonte: EIA – U.S. Energy Information Administration. https://www.eia.gov/ , consultado em abril de 2018.....	8
Figura 2.3: Capacidade total de geração de energia por tipo: carvão, gás, nuclear e fontes renováveis, durante os períodos de 2010-2016 e 2017-2040. Fonte: Agência Internacional de Energia – IEA (2017).	9
Figura 2.4: Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil durante o ano de 2016. Fonte: Balanço Energético Nacional - BEN, Ministério de Minas e Energia (2017).....	16
Figura 2.5: Sistemas de micro e minigeração instalados no Brasil (número de unidades). Fonte: http://www.aneel.gov.br , consultado em fevereiro de 2016.....	18
Figura 3.1: Gráfico de irradiação solar no plano horizontal para as localidades próximas correspondentes a área urbana de Manaus. Fonte: CRESESB, consulta realizada em abril de 2018.....	40
Figura 3.2: Gráfico de irradiação solar no plano inclinado (Plano horizontal de 0°N e ângulo igual à latitude de 3°N) para as localidades próximas correspondentes a área urbana de Manaus. Fonte: CRESESB sem data, consulta realizada em abril de 2018.....	40
Figura 3.3: Valor referente à tarifa, expressas na unidade R\$/kWh, homologada pela ANEEL, cuja última modificação foi realizada em 09/04/2018 10h48min. Fonte: Site da ANEEL http://www.aneel.gov.br , consulta realizada em abril de 2018.....	41
Figura 3.4: Apresentação dos três custos considerados na definição das tarifas de Energia no Brasil. Fonte: Site da ANEEL http://www.aneel.gov.br , consulta realizada em abril de 2018.....	42
Figura 3.5: Valor final referente às parcelas correspondentes a composição da cobrança da tarifa de energia elétrica praticada no Brasil. Fonte: Site da ANEEL http://www.aneel.gov.br , consulta realizada em abril de 2018.....	43
Figura 3.6: Mapa de localização e acesso da região metropolitana de Manaus.....	44
Figura 3.7: Mapa de localização da unidade residencial pertencente ao condomínio Allegro Residencial Club.....	46

Figura 3.8: Fotos 01-06. Vista da área externa do condomínio Allegro Residencial Club, fotos retiradas do site da Direcional Engenharia.....	47
Figura 3.9: Consumo energético em kWh de uma unidade residencial familiar em Manaus, durante os anos de 2016 e 2017.....	48
Figura 3.10: Faturamento mensal de energia de uma unidade residencial familiar em Manaus, durante os anos de 2016 e 2017. Cotação do dólar americano (1 real=0,3136 dólar) realizada em 24/01/2018.....	48
Figura 3.11: Localização da unidade comercial de pequeno porte, Escola CEIA - Centro de Educação Infantil Aliança.....	50
Figura 3.12: Fotos 07-12. Vista da área interna e externa da escola CEIA- Centro de Educação Infantil Aliança.....	51
Figura 3.13: Consumo energético em kWh da Escola CEIA, a unidade comercial de pequeno porte em Manaus, durante os anos de 2016 e 2017.....	52
Figura 3.14: Faturamento mensal do consumo energético da Escola CEIA, durante os anos de 2016 e 2017. Cotação do dólar americano (1real=0,3136 dólar) realizada em 24/01/2018.....	52
Figura 3.15: Mapa de localização da unidade comercial de médio porte, Faculdade IDAAM.....	54
Figura 3.16: Fotos 13-18. Vista das instalações da área interna da Faculdade IDAAM. Fonte: Site IDAAM.....	55
Figura 3.17: Consumo energético em kWh da Faculdade IDAAM, a unidade comercial de médio porte em Manaus, durante os anos de 2016 e 2017.....	56
Figura 3.18: Faturamento mensal do consumo energético da Faculdade IDAAM, durante os anos de 2016 e 2017. Cotação do dólar americano (1 real=0,3136 dólar) realizada em 24/01/2018.....	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Resumo das variáveis referentes ao dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos dos estudos de caso da unidade residencial, escola CEIA e Faculdade IDAAM.....	59
Tabela 3.2: Unidade Residencial: Resultados técnicos e econômicos.....	60
Tabela 3.3: Escola CEIA: Resultados técnicos e econômicos.....	62
Tabela 3.4: Faculdade IDAAM: Resultados técnicos e econômicos.....	63

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se o enquadramento e a justificção da respectiva dissertação, assim como, os objetivos da mesma. De seguida, será feita uma descrição da sua estrutura.

1.1 Enquadramento

Segundo Pietzcker et al (2014), a energia fotovoltaica (PV) apresentou um crescimento substancial nos últimos anos ao mesmo tempo em que obteve reduções consideráveis de custos, aumentando-se assim o desafio em se estabelecerem modelos de matrizes energéticas integradas combinando diferentes fontes energéticas e, vislumbrando o fato da energia solar ser um modelo dominante a longo prazo.

O governo brasileiro reconheceu a eletricidade como sendo um direito do cidadão, fomentando o acesso a quase 15 milhões de pessoas desde o ano de 2003, no âmbito do programa "Luz para Todos". No entanto, partes consideráveis do país, incluindo parte da região amazônica, ainda não têm acesso aos serviços de energia elétrica, notadamente devido às longas distâncias e aspectos geográficos desafiadores (Nerini et al, 2014).

Em 1962, no Brasil, foi criada a Eletrobras - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. com o objetivo de coordenar todas as empresas do setor elétrico, trata-se de uma sociedade de economia mista e de capital aberto, sob controle acionário do Governo Federal brasileiro que atua como uma *holding*, dividida em geração, transmissão e distribuição.

De acordo com o relatório anual e de sustentabilidade do setor elétrico brasileiro referente ao ano de 2015 (Eletrobras, 2016), e com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2014 o Brasil possuía uma população total de 203.610 milhões de habitantes. O consumo total de eletricidade no referido ano atingiu 475.432GWh, o número de consumidores foi de 77.171 mil, dos quais 69.007 mil eram clientes residenciais que consumiam, em média, 167kWh por mês.

Segundo o relatório anual e de sustentabilidade do setor elétrico brasileiro referente ao ano de 2016 (Eletrobras, 2017), a Eletrobras atingiu, a capacidade instalada de 46.856MW em empreendimentos de geração, representando 31% dos 150.338MW instalados no Brasil. Em se tratando da capacidade total instalada, 69% são provenientes de empreendimentos corporativos, 14% de empreendimentos realizados por meio de Sociedades de Propósito Específico (SPE) e 17% de empreendimentos em propriedade compartilhada, incluindo a metade da capacidade de Itaipu Binacional (7.000 MW) – que representa 15% do total. As

empresas Eletrobras geraram, com as SPE, 170.917GWh de energia, um acréscimo de 2,9% comparado ao ano de 2015, em virtude dos destaques mais significativos na produção de energia nas fontes eólica, hídrica e nuclear.

Na América do Sul, o Brasil é um país que possui uma extensão territorial de 8.514.876km², sendo seu território dividido em Meso-Regiões. No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é o órgão responsável pela divisão regional do seu território, reunindo os Estados de acordo com os critérios de semelhanças físicas, humanas, culturais, sociais e econômicas. Ao longo da história, muitas divisões regionais do território foram estabelecidas e utilizadas, entretanto, atualmente está em vigor a divisão estabelecida no ano de 1970, que subdivide o país em cinco Regiões; Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sul e Sudeste.

A Região Norte, onde se encontra o Estado do Amazonas, é composta também pelos Estados de Roraima, Acre, Amapá, Pará, Rondônia e Tocantins. Geograficamente, a mesma se localiza ao norte, entre o maciço das Guianas; ao sul localiza-se o Planalto Central; a oeste, a cordilheira dos Andes; e a noroeste o oceano Atlântico, possuindo uma extensão territorial de 3.853.397,2km², correspondendo a aproximadamente 42% do território nacional, sendo considerada a maior região do Brasil.

A superfície do Estado do Amazonas possui uma área total de 1.559.159,148km², sendo maior que a soma das áreas de países como a França, Espanha, Suécia e Grécia, grande parte desse território é composto por florestas nativas e mananciais hídricos, com acesso principalmente por meios fluviais ou aéreos.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Energética – EPE, de acordo com o relatório do Balanço Energético Nacional (2017), em 2016, a capacidade instalada de geração de energia elétrica do estado do Amazonas foi de 2.315MW, dos quais 275MW correspondem a geração por hidrelétricas e 2.040MW por termoeletricas.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (2017), durante o ano de 2016, o consumo residencial total de eletricidade no Estado do Amazonas foi de 2.125GWh. Neste Estado do Brasil, o consumo residencial é maior do que a média do país, o que pode ser explicado pelas características climáticas da região amazônica, entretanto, o seu menor consumo de eletricidade per capita reflete o menor desenvolvimento industrial da região como um todo.

De acordo com Els et al (2012), existe a necessidade de quebra de paradigmas de antigos modelos de distribuição de energia para a abertura de novos modelos de produção em áreas rurais da Amazônia, iniciando-se novos modelos descentralizados, estabelecendo-se a

implementação de parcerias entre o setor elétrico e os diversos atores locais, estaduais e federais. Segundo Hernández-Moro e Martínez-Duart (2013), os mesmos apontam que dentre as tecnologias solares disponíveis no mercado, os sistemas solares fotovoltaicos apresentam-se mais apropriados a serem utilizados em áreas localizadas em altas latitudes da Terra, enquanto que os sistemas de produção de Energia Solar Concentrado (CSP), de preferência com armazenamento térmico incorporado, possuem seu melhor desempenho em áreas áridas localizadas relativamente a baixas latitudes.

Apesar de já existirem diversos estudos sobre a possibilidade da produção de energia fotovoltaica descentralizada em zonas remotas da Amazônia, a exemplo de Els et al. (2012) e Cavalcante (2015), a análise de sistemas distribuídos em ambientes urbanos com aplicação a casos específicos e reais é ainda pouco explorada na literatura.

A presente Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial objetivou avaliar o potencial do uso de energia solar fotovoltaica em duas unidades comerciais e uma residencial, considerando seu uso como estratégia fundamental para o desenvolvimento sustentável do setor energético brasileiro. O trabalho realizado foi baseado em estudos de caso de uma unidade residencial, uma unidade comercial de pequeno porte e outra unidade comercial de médio porte, cujos padrões de consumo diferem entre si, permitindo se analisar diferentes modelos de uso da energia fotovoltaica com base no sistema *net metering* e nas novas legislações vigentes, analisando as relações de custo benefício dos sistemas e sua respectiva viabilidade técnico-econômica.

Com base nos resultados obtidos, tornou-se possível o entendimento da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede para a região metropolitana de Manaus, suas especificidades técnicas e econômicas e, principalmente, as implicações políticas em um cenário de franca expansão do mercado de energias renováveis no Brasil, utilizando-se da energia solar como mecanismo de desenvolvimento sustentável para o país.

Este trabalho visa preencher uma lacuna do conhecimento do setor energético em um Estado cuja metrópole se localiza no centro da Amazônia brasileira, objetivando uma contribuição em relação à formulação de políticas públicas voltadas ao potencial de produção e geração de energia solar fotovoltaica na região Norte do Brasil, bem como a concepção de estratégias de diversificação da matriz energética brasileira rumo à sustentabilidade do setor.

1.2 Objetivo Geral

❖ Avaliar o potencial do uso de energia solar fotovoltaica em unidades residenciais e comerciais na área urbana da cidade de Manaus, localizada no Estado do

Amazonas, considerando seu aproveitamento como estratégia fundamental para o desenvolvimento sustentável do setor energético brasileiro.

1.2.1 Objetivos Específicos

- ❖ Analisar a viabilidade técnica e econômica de unidades solares fotovoltaicas para uso em unidade residencial e em unidades comerciais de pequeno e médio porte, para sistemas conectados a rede de distribuição de energia em Manaus.
- ❖ Analisar os modelos de uso da energia fotovoltaica propostos, com base no sistema *net metering* e nas novas legislações vigentes no Brasil, compreendendo suas especificidades e as relações de custo benefício dos projetos de aproveitamento de energia solar.
- ❖ Conceção e apresentação de propostas de modelos sustentáveis de produção de energia elétrica com intuito de subsidiar a formulação de Políticas Públicas para o Estado do Amazonas.

1.3 Metodologia

A metodologia deste projeto foi baseada na pesquisa e revisão da literatura sobre o panorama atual do uso da energia fotovoltaica no mundo, suas perspectivas futuras e seus desafios presentes, notadamente os atuais aspectos regulatórios do Brasil e as adequabilidades e limitações do uso da energia fotovoltaica na região amazônica, particularmente na região metropolitana de Manaus.

A avaliação do potencial do uso de energia solar fotovoltaica na área urbana de Manaus baseou-se em estudos de caso de duas unidades comerciais e uma residencial, cujos padrões de consumo diferem entre si. Torna-se assim possível a análise de diferentes modelos de uso da energia fotovoltaica com base no sistema *net metering* e nas novas legislações vigentes, concebendo-se as relações de custo e benefício dos sistemas e sua respectiva viabilidade técnico-econômica.

A aplicação de métodos quantitativos e qualitativos de investigação, notadamente a metodologia *net metering*, possibilitou o entendimento da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede na área urbana da região metropolitana de Manaus, suas especificidades técnicas e econômicas foram consideradas e, principalmente, as implicações políticas em um cenário de franca expansão do mercado de energias renováveis no Brasil.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação estrutura-se em 5 capítulos complementados por um conjunto de anexos.

O primeiro capítulo consiste na introdução da presente dissertação onde se inclui o enquadramento do tema a tratar, definindo-se também os seus objetivos e descrição da estrutura da presente dissertação.

No segundo capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica acerca dos temas abordados descrevendo o estado de arte no que diz respeito ao atual panorama da energia solar fotovoltaica no mundo, incentivos ao seu desenvolvimento, contextualização do Brasil e seus aspectos regulatórios, o entendimento da região norte e a importância da energia fotovoltaica no Estado do Amazonas, suas barreiras, adequabilidades e limitações.

O terceiro capítulo destina-se à análise da avaliação dos projetos de aproveitamento da energia fotovoltaica, o modelo *net metering* e os aspectos de sustentabilidade socioambiental do setor energético. Para corroborar o estudo teórico, é apresentado neste capítulo os estudos de caso da unidade residencial, da unidade comercial de pequeno porte referente a escola CEIA, e da unidade comercial de médio porte referente a faculdade IDAAM. Desenvolve-se uma avaliação econômica das diferentes modalidades de investimento, apresentando-se os dados referentes ao período de retorno financeiro dos respectivos projetos.

No quarto capítulo, apresentam-se as conclusões do projeto e as propostas de projetos futuros adaptados às especificidades da região amazônica, notadamente são realizadas considerações finais a respeito da formulação de políticas públicas.

Esta dissertação termina com uma seção de Anexos, na qual podem ser consultados os mapas com as informações adicionais acerca da localização dos estudos de caso abordados.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo objetiva-se apresentar uma revisão da literatura a respeito da contextualização do estado da energia fotovoltaica no mundo, bem como os atuais incentivos de desenvolvimento, com destaque para o panorama atual do Brasil, analisando-se os aspectos regulatórios e os desdobramentos da micro e minigeração distribuída de energia elétrica no país, com base no novo sistema regulatório brasileiro.

Este capítulo encontra-se dividido em 6 seções. Na seção 2.1 apresenta-se uma contextualização global da energia fotovoltaica no mundo, analisando-se a situação atual e as diferentes visões sobre as perspectivas de desenvolvimento futuro; a seção 2.2 aborda os atuais incentivos de desenvolvimento do mercado fotovoltaico; a seção 2.3 contextualiza brevemente a energia fotovoltaica no Brasil, com o atual cenário nacional; na seção 2.4 são levantados aspectos regulatórios da energia fotovoltaica no Brasil, com destaque para a micro e minigeração distribuídas; é abordado também a região norte do país na seção 2.5, com uma visão a respeito da importância da energia fotovoltaica no Estado do Amazonas, sendo a última seção 2.6, dedicada a realizar considerações a respeito das atuais barreiras e incentivos existentes no território brasileiro em relação ao mercado de energia fotovoltaica.

2.1 Contextualização da Energia Fotovoltaica no Mundo

Segundo a U.S. Energy Information Administration - EIA (2018), vários países ocupam posição de destaque em se tratando do seu número populacional na ordem de milhões de habitantes, conforme mostra a Figura 2.1, em 2018 a população dos respectivos países e do continente europeu em ordem de grandeza é de; China 1.388, Índia 1.343, Europa 578, EUA 330, Brasil 211 e Japão 126, conforme apresentam-se os seus respectivos cenários de crescimento até o ano de 2050.

Os Estados Unidos já possuem e provavelmente continuarão a obter, uma parcela crescente de sua eletricidade produzida a partir de energia solar fotovoltaica e eólica. Considerando o cenário prospectivo do plano de energia limpa americano até o ano de 2040, a crescente demanda por módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas e demais produtos relacionados às tecnologias de produção de energia limpa, resultará em aumento ainda maior da demanda por uma série de metais que são produzidos principalmente ou, exclusivamente, como subprodutos (Nassar et al, 2016).

Na Europa, o potencial de mitigação das emissões de dióxido de carbono, da geração de energia elétrica de base fotovoltaica e eólica, pela substituição das tecnologias tradicionais,

poderá levar a um aumento das emissões de carbono durante os estágios iniciais de difusão, devido à fase inicial destas novas unidades geradoras de energia (Usubiaga et al, 2017).

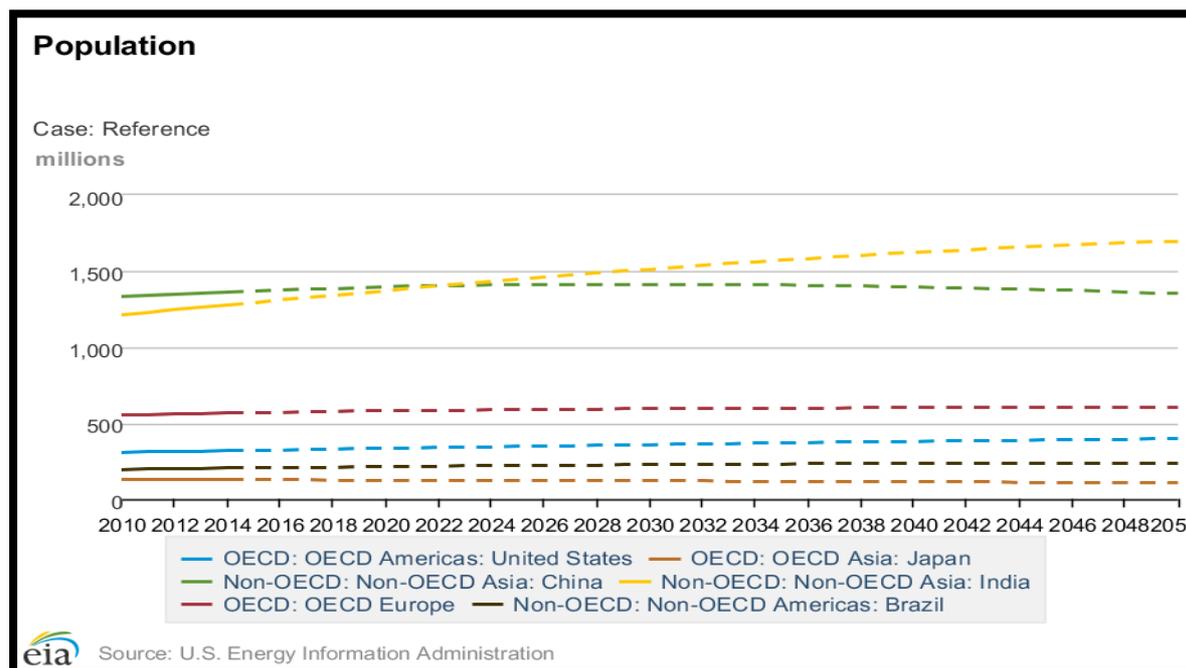


Figura 2.1: População total dos EUA, China, Japão, Europa, Índia e Brasil e seus respectivos cenários de crescimento até 2050. Fonte: EIA – U.S. Energy Information Administration. <https://www.eia.gov/>, consultado em abril de 2018.

Colombo et al (2015), analisaram o caso da Itália, de acordo com uma abordagem monetária que inclui os incentivos da economia de carbono, a avaliação conjunta de impactos econômicos, ambientais e de possíveis cenários fotovoltaicos, e definiram um mix energético otimizado para o futuro, no qual a tecnologia fotovoltaica tem um papel essencial.

Segundo a Agência Internacional de Energia – IEA (2018), atualmente, vários países evidenciam seu crescimento em termos de capacidade instalada de produção de energia solar, tal crescimento ocorre na ordem dos giga watts de geração de energia. Em 2018, a capacidade instalada de alguns países do globo e do continente europeu em ordem de grandeza é de; Europa 123,0GW, China 90,4GW, EUA 49,0GW, Japão 37,1GW, Índia 14,5GW e Brasil 0,1GW. Considerando um horizonte de tempo compreendido entre o ano de 2015 até o ano de 2050, os respectivos cenários de crescimento em ordem de grandeza são; Índia 10,5 %, EUA 8,0%, Brasil 7,9%, China 5,8 %, Europa 1,5% e Japão 1,2 %, conforme mostra a Figura 2.2.

Segundo a Agência Internacional de Energia – IEA (2017), as energias renováveis irão representar dois terços do investimento global em usinas de geração de energia até o ano de 2040, tornando-se, para muitos países, a fonte de energia com o menor custo de geração. A rápida implantação da energia solar fotovoltaica (PV), liderada pela China e Índia, ajudam a energia solar a ser a maior fonte geradora de energia com baixas emissões de carbono até o

ano de 2040, quando a participação de todas as energias renováveis chegará a 40% do total de energia produzida no planeta.

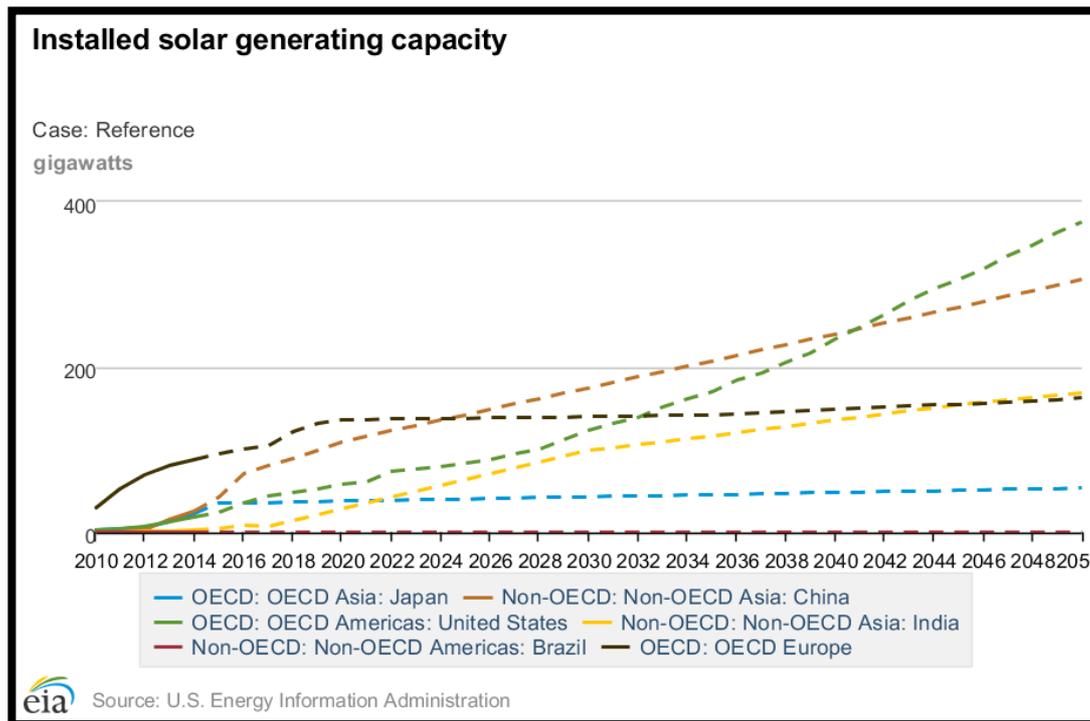


Figura 2.2: Capacidade de energia solar fotovoltaica no mundo e cenários de crescimento até o ano de 2050. Fonte: EIA – U.S. Energy Information Administration. <https://www.eia.gov/>, consultado em abril de 2018.

Na União Europeia, após 2030, as energias renováveis irão responder por 80% da capacidade de produção de eletricidade, sendo a energia eólica a principal fonte de produção de eletricidade logo após o ano de 2030, devido ao forte crescimento tanto *onshore* quanto *offshore*, conforme mostra a Figura 2.3. As políticas energéticas deverão continuar a apoiar a produção a partir de energia renovável em todo o mundo, haverá cada vez mais leilões com preços competitivos ao invés de tarifas *feed-in*, e a transformação do setor de geração de energia serão amplificadas para milhões de domicílios, comunidades e empresas que investem diretamente em energia solar fotovoltaica distribuída (World Energy Outlook, 2017).

O crescimento das energias renováveis não se limita apenas ao setor elétrico, o uso direto de energias renováveis para fornecer calor e mobilidade irá aumentar de igual modo em todo o mundo. No Brasil, a participação do uso direto e indireto de fontes renováveis no consumo final de energia aumentará de 39% em 2017 para 45% em 2040, em comparação com uma progressão da produção global de energia de 9% para 16% durante o mesmo período (World Energy Outlook, 2017).

Os sistemas industriais de motores elétricos responderão por um terço no aumento da demanda de energia nos cenários políticos futuros, iniciativas da indústria e apoio de novas

políticas impulsionarão a projeção da frota global de carros elétricos dos 2 milhões atuais para até 280 milhões em 2040. A escala das futuras necessidades de eletricidade e o desafio de descarbonizar o fornecimento de energia, ajudam a explicar os motivos pelos quais o investimento global em eletricidade ultrapassou o do petróleo e do gás durante o ano de 2016, (World Energy Outlook, 2017).

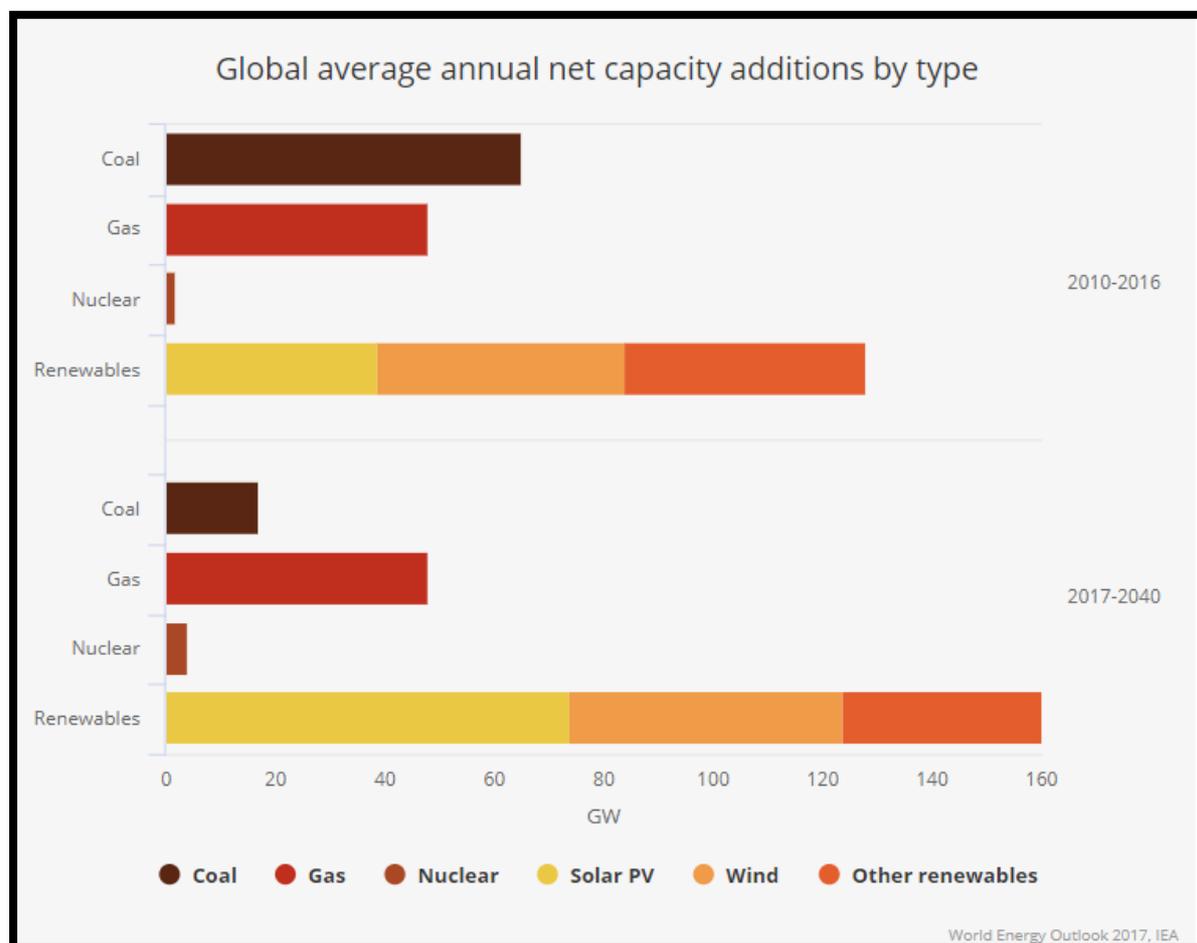


Figura 2.3: Capacidade total de geração de energia por tipo: carvão, gás, nuclear e fontes renováveis, durante os períodos de 2010-2016 e 2017-2040. Fonte: Agência Internacional de Energia – IEA (2017).

Mudanças em grande escala do sistema energético global definiram os novos cenários futuros, a rápida implantação e a queda dos custos das tecnologias de energia limpa foram variáveis importantes; desde 2010, os custos da nova energia solar fotovoltaica caíram em 70%, a energia eólica em 25% e, os custos de baterias em 40%. Em 2016, os gastos dos consumidores mundiais com eletricidade aproximaram-se dos valores dos gastos com produtos de petróleo (World Energy Outlook, 2017).

Estudando cenários norte americanos e estrangeiros da fabricação de equipamentos fotovoltaicos à base de silício e, utilizando-se de análises comparativas de perfis de energia e ciclo de vida dos equipamentos, observou-se que, atualmente, a maioria dos módulos

fotovoltaicos são terceirizados ou fabricados em países não pertencentes à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a exemplo da China, que possui um grau substancialmente diferente de industrialização e restrições ambientais (Yue et al, 2014).

Em 2013, a Coreia do Sul, encontrava-se como sendo o 9º país com o maior consumo de energia e em 2011, ocupou o 7º lugar no ranking dos países com maiores taxas de emissões de gases de efeito estufa. Paralelamente, em 2008, a nação estabeleceu em seu plano nacional de desenvolvimento a meta de "Crescimento de Baixo Carbono Verde" e está anunciando várias políticas de energia ativa que devem chamar a atenção do mundo para o setor da indústria fotovoltaica (Hong et al, 2015).

Considerando as especificidades de áreas rurais da Índia, Ahsan et al (2016) estudaram um sistema solar fotovoltaico projetado para pequenas residências localizadas em regiões isoladas, com capacidade de 1kW. Com base nos custos mensais e semanais da energia produzida pelo sistema e após a realização de análises técnicas, econômicas e de viabilidade de desempenho em campo, verificou-se que tais sistemas possuem uma vida útil de 25 anos e uma taxa interna de retorno de cerca de 1,714% do investimento, sem qualquer subsídio financeiro.

Singh e Banerjee (2015), ao estudarem os cenários potenciais de produção de energia fotovoltaica em grande escala, para telhados da cidade de Mumbai, na Índia, definiram uma metodologia capaz de estimar o potencial de produção de energia solar fotovoltaica, analisando e comparando diferentes orientações dos painéis solares a serem utilizados, estabelecendo um período de recuperação de 13 anos para os custos relativos ao investimento em equipamentos.

A Jordânia é um país que enfrenta inúmeros problemas ambientais relacionados à demanda por energia, mundialmente, é o quarto país mais privado de água, com um consumo anual de apenas 145m³ per capita, apesar de ser privilegiada em recursos de energia eólica e solar, 99% da eletricidade produzida é proveniente de combustíveis fósseis importados, resultando em altas emissões de carbono e inúmeros problemas de abastecimento (Novosel et al, 2015).

Segundo Novosel et al (2015), até o ano de 2050, em cenários para o desenvolvimento do sistema de energia jordaniano, a integração da geração de energia eólica e fotovoltaica em plantas de dessalinização da água do mar pela metodologia de osmose reversa, demonstram resultados de até 76% do aumento da participação de energias renováveis para produção de eletricidade, ocasionando uma drástica redução no consumo de combustíveis e emissões de dióxido de carbono.

Na Austrália, avaliações econômicas da produção de energia elétrica pela integração de unidades fotovoltaicas e sistemas de armazenamento em baterias, em edifício residencial, demonstram a rentabilidade dos investimentos, tendo em consideração os valores atuais líquidos, os respectivos períodos de retorno e o valor futuro da moeda, podendo ser utilizados em cenários da Austrália, Europa e América do Norte (Akter et al, 2017).

Costa (2013), ao analisar a possibilidade de utilização de painéis fotovoltaicos em Timor-Leste, concluiu ser viável a utilização da energia solar como uma predominante fonte de geração de energia elétrica em áreas rurais e comunidades isoladas, atendendo as necessidades e serviços indissociáveis a qualidade de vida da população, e que países localizados em zonas como as ilhas do Pacífico, Ásia e África, compartilham de contextos econômicos e socio-ambientais semelhantes.

Yaniktepe e Genc (2015), comparando modelos de medições de radiação solar em Osmaniye na Turquia, estabeleceram um modelo inovador com o intuito de prever a radiação em diferentes pontos do globo para superfícies horizontais, produzindo hidrogênio a partir do uso da energia solar em sistemas fotovoltaicos. Para Yaniktepe e Genc (2015), os dados referentes a radiação solar, em qualquer lugar da superfície terrestre, são fatores imprescindíveis para se projetar sistemas fotovoltaicos e desenvolver modelos de plantas híbridas de geração de energia elétrica, a partir de sistemas solares com geração de hidrogênio.

De acordo com as políticas econômicas do Governo Iraniano, a expansão do uso de sistemas fotovoltaicos em residências contribuirá economicamente para o desenvolvimento do país. Por meio de análises da legislação vigente, análises econômicas, ambientais e de cenários futuros, foram identificados o potencial de crescimento da capacidade de geração de energia elétrica distribuída, utilizando sistemas fotovoltaicos em setores residenciais (Zandi et al, 2017).

Ao abordar a produção de eletricidade em Portugal, Soares (2014), analisa e propõe diferentes cenários de uso de fontes de energia renováveis, concluindo que o aumento do uso das fontes de energia renováveis terá um forte impacto sobre o custo total do sistema, gerando um aumento da potência instalada e a necessidade de integrar ao sistema elétrico a possibilidade de importações e exportações.

Santos (2015), ao analisar os cenários do sistema elétrico de Portugal, discute a necessidade de inclusão de metodologias de risco e incerteza em planejamentos de grandes dimensões, considerando, em longo prazo, o aumento da contribuição de fontes renováveis de

energia elétrica no mix tecnológico de geração de eletricidade, e a incerteza quanto às alterações climáticas a nível global.

Atualmente, a coordenação dos sistemas de produção de energia eólica e fotovoltaica, com dispositivos eficientes de armazenamento de energia, permite flexibilidade de armazenamento e descarga nas horas de preços de mercado convenientes, a falta de incerteza devido às especificidades de produção de eletricidade de base eólica e fotovoltaica, pode ser gerida por dispositivos de armazenamento (Gomes et al, 2017).

2.2 Incentivos ao desenvolvimento da energia fotovoltaica

Nos últimos 15 anos, a Europa esteve envolvida no grande desenvolvimento da energia solar fotovoltaica (PV), os requisitos do protocolo de Quioto e as diretrizes da União Europeia (UE) para o uso de fontes de energia renováveis (RES), juntamente com as políticas ambientais introduzidas para o desenvolvimento e uso de energias alternativas, foram os principais fatores a gerar um grande número de oportunidades de mercado para este setor (Ramírez et al, 2017).

Na Europa, as diferenças na aplicação das políticas energéticas causaram desequilíbrios significativos nos sistemas elétricos e distorções dos preços da eletricidade. Atualmente, a principal preocupação dos governos reside na definição de mecanismos de apoio e financiamento, de modo a torná-los menos onerosos aos consumidores (Ramírez et al, 2017).

De acordo com Ramírez et al (2017), ao avaliar comparativamente, alguns países representativos da União Europeia, o estudo de custo-efetividade usando sistemas de tarifação *feed-in* e de *net metering*, desenvolveu-se um modelo econômico capaz de avaliar a rentabilidade dos projetos fotovoltaicos que combinam os respectivos esquemas de suporte. Os resultados obtidos mostraram não apenas as circunstâncias em que a energia solar é economicamente rentável, mas também os tipos de sistemas fotovoltaicos, localização geográfica, níveis mínimos de preços tarifários e as respectivas combinações de esquemas de suporte que devem ser promovidos.

Segundo Shin-Je et al (2017), durante o período de 1996 a 2013, ao analisar a eficácia política dos instrumentos econômicos para o desenvolvimento da energia fotovoltaica e eólica, em um conjunto de 21 países membros da União Europeia, constatou-se que os instrumentos econômicos de incentivos fiscais e de recursos financeiros tais como, empréstimos preferenciais e subsídios de capital, foram os mais eficientes para o desenvolvimento da geração de energia de base fotovoltaica.

Para Punda et al (2017), na região do sudeste da Europa, após revisar os mecanismos de incentivo e de viabilidade econômica dos investimentos de integração das fontes de energia renováveis, constatou que o incentivo ao desenvolvimento e implantação de fontes de energias renováveis (RES) e das tecnologias de baixo carbono, tem sido uma forma bem sucedida de promover novas tecnologias, criando-se investimentos viáveis capazes de competirem com as fontes de energia tradicionais.

Embora existam diferentes mecanismos de incentivo, as tarifas *feed-in* (FIT- *Feed in Tariff* em inglês) demonstram-se ser o melhor modelo para acelerar o desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono, garantindo aos produtores, preços preferenciais para a eletricidade produzida ao longo de um período de tempo, permitindo-lhes acesso à rede de energia para vender ou injetar a produção de eletricidade. Devido a esses benefícios, os modelos FIT, tornaram-se o tipo de modelo mais comum para estimular a integração de fontes de energias renováveis (FER) no sudeste da Europa (Punda et al, 2017).

De acordo com Ratinen e Lund (2015), na Dinamarca, Alemanha, Finlândia e Espanha, ao se analisar qualitativamente a influência da inclusão das políticas públicas no desenvolvimento dos nichos de energia eólica e fotovoltaica dos respectivos países, constatou-se que as políticas da Dinamarca e Alemanha são as mais inclusivas para o setor, em comparação com as da Espanha e Finlândia, sendo consideradas menos inclusivas.

O setor elétrico é utilizado como exemplo empírico de um regime de governo, onde a produção de energia eólica e fotovoltaica podem ser consideradas nichos. A Dinamarca, Alemanha, Finlândia e Espanha possuem os seus nichos em desenvolvimento e expansão, um alto grau de inclusão nos seus respectivos processos é resultado das políticas públicas setoriais, sugerindo aos Estados Federativos uma conduta mais política do que muitas vezes é proposto (Ratinen e Lund, 2015).

Em Taiwan, o desenvolvimento atual do setor produção de energia limpa encontra-se em fase embrionária, a geração de energia eólica e fotovoltaica atuais fornecem apenas uma pequena parcela da demanda nacional. Ao comparar os incentivos FIT e os diferentes mecanismos de apoio ao desenvolvimento de energia limpa já implementados na Alemanha, constatou-se que os mesmos podem ser utilizados como uma referência para a futura modificação do sistema FIT em Taiwan (Liou, 2015).

Na China, a geração de energia renovável experimentou um tremendo crescimento na última década, entretanto, para entendermos esse rápido crescimento é necessário compreender como o governo chinês desencadeia suas políticas públicas, dentre elas são identificadas quatro grandes estratégias de fomento do governo; incentivos à pesquisa e

desenvolvimento, incentivos fiscais, incentivos tarifários e incentivos ao desenvolvimento de mercado de energia limpa (Zhao et al, 2016).

A análise sistemática das políticas de incentivo para o mercado de energias renováveis na China abrange respectivamente; a geração de energia eólica, energia solar fotovoltaica, pequenas hidrelétricas (com capacidade de geração de energia inferior a 50MW por unidade), geração de energia a partir de biomassa e energia geotérmica. O sistema de incentivos é composto por leis, regulamentos, políticas públicas setoriais e planos industriais emitidos no planejamento estratégico de governo a cada 15 anos, sendo assim denominados de "Plano Quinquenal" (Zhao et al, 2016).

Em áreas rurais e remotas da China, os sistemas solares fotovoltaicos (PV) integrados com micro-sistemas de consumo, oferecem uma solução potencial para a agricultura e pequenas empresas, garantindo acesso a fontes de energia renovável, confiáveis e eficientes. Com a tendência decrescente dos custos dos módulos fotovoltaicos, os sistemas solares distribuídos associados com pequenas unidades de consumo local são capazes de atender a crescente demanda de energia em áreas remotas com preços acessíveis (Zhang et al, 2016).

Desde 2013, uma série de políticas públicas e ações setoriais foram promulgadas na China, com intuito de fomentar o desenvolvimento e uso de energia fotovoltaica em pequena e grande escala. No entanto, em comparação com as usinas de energia a carvão ou sistemas fotovoltaicos de grande escala, existe atualmente uma barreira para garantir o financiamento de pequenos sistemas fotovoltaicos distribuídos, pelo fato dos mesmos possuírem altos custos iniciais e se depararem com os atuais riscos das iniciativas de comercialização de energias renováveis (Zhang et al, 2016).

A análise do financiamento de energia fotovoltaica distribuída, para os sistemas de bombeamento de água em áreas rurais da China, é atualmente abordada como um mecanismo de introdução a financiamentos para comunidades, apresentando-se como um novo modelo de fomento a sistemas fotovoltaicos distribuídos (Zhang et al, 2016).

Recentemente, a China concebeu inúmeras políticas de incentivo para a indústria fotovoltaica, visando à quebra das limitações de alto custo e o aumento dos investimentos no setor, diante desse ambiente de política favorável, o poder da indústria fotovoltaica é grande, gerando enormes oportunidades de desenvolvimento para o mercado de energia solar (Guo e Guo, 2015).

Ao analisar o atual ambiente político da China, juntamente com as interações entre as variáveis políticas, técnicas e econômicas, um modelo de simulação de desenvolvimento da indústria fotovoltaica foi construído, utilizando-se de metodologias da dinâmica de sistemas,

concluindo que, durante o período de 2012 a 2032 haverá uma forte tendência de desenvolvimento de longo prazo para o setor, tendo como base as últimas políticas de incentivo do Governo (Guo e Guo, 2015).

Na Índia, as necessidades energéticas são supridas principalmente pelo uso de combustíveis fósseis, quase 70% da energia é gerada por usinas a base de carvão, 840 milhões de pessoas dependem da biomassa tradicional para satisfazerem suas demandas energéticas. Aproximadamente, 74 milhões de pessoas em áreas rurais não possuem acesso a modernos sistemas de iluminação e 81 milhões de famílias não tem acesso à eletricidade, fato este que representa um grande desafio para a segurança energética do país (Maju e Sagar, 2017).

Ao analisarem criticamente o desenvolvimento do setor de energia elétrica na Índia, Maju e Sagar (2017), definem o uso de sistemas solares fotovoltaicos como modelo de desenvolvimento econômico para o País, salientando as diversas iniciativas dos governos estaduais e federal em enquadrarem suas políticas públicas, fornecendo subsídios para incentivar o uso da energia fotovoltaica.

2.3 Energia Fotovoltaica no Brasil

A irradiação solar no Brasil é favorável à geração de eletricidade em todo o seu território, entretanto, a fonte de energia elétrica de base solar representa menos de 0,1% da matriz energética brasileira (Pinto et al, 2016).

De acordo com o balanço energético nacional – BEN, do ministério brasileiro de Minas e Energia, em 2016 a micro e mini geração distribuída de energia elétrica, cujo crescimento foi incentivado por ações regulatórias, atingiu o valor de geração de 104,1GWh com uma potência instalada de 72,4MW, com destaque para a fonte solar fotovoltaica, com geração de 53,6GWh e potência instalada de 56,9MW, respectivamente (BEN, 2017).

No Brasil, a geração de energia elétrica em centrais de serviço público e autoprodutores atingiram 578,9TWh em 2016, resultado 0,4% inferior se comparado ao ano de 2015, as centrais elétricas de serviço público representam 83,0% da geração total, e possui a energia a hidráulica como fonte principal de geração, que apresentou uma expansão de 5,9% em comparação ao ano de 2015 (BEN, 2017).

Segundo Silveira et al (2013), a crescente demanda por energia elétrica e o capital limitado investido para fomentar este setor, está forçando países como o Brasil a buscar novas alternativas para geração de energia elétrica descentralizada, entretanto, é necessário a abertura de incentivos para a implementação da energia solar fotovoltaica no país.

Em 2016, a geração de energia elétrica a partir de fontes não renováveis representou 19,6% da produção nacional, as importações líquidas no valor de 40,8TWh, somadas à geração nacional, asseguraram uma oferta interna de energia elétrica de 619,7TWh, a Figura 2.4 apresenta a estrutura da oferta interna de eletricidade no Brasil. O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 68,1% da oferta interna, as fontes renováveis representam 81,7% da oferta interna de eletricidade no Brasil, resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável (BEN, 2017).

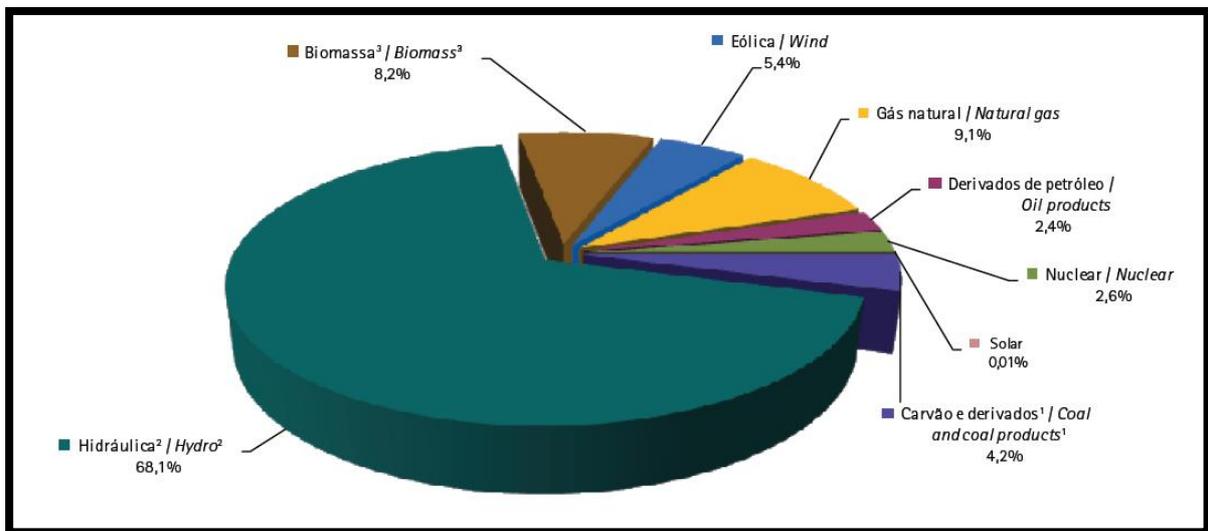


Figura 2.4: Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil durante o ano de 2016. Fonte: Balanço Energético Nacional - BEN, Ministério de Minas e Energia (2017).

As políticas atuais do governo brasileiro foram responsáveis por uma crescente implantação de sistemas fotovoltaicos (PV), proporcionando condições favoráveis para o surgimento de uma indústria fotovoltaica nacional. Comparando as políticas chinesas para o desenvolvimento do setor de energia solar e o atual cenário brasileiro, destaca-se a importância dos investimentos em energias renováveis nas economias emergentes e o papel decisivo dos Estados nacionais de impulsionar a indústria de energia renovável a uma ordem global competitiva (Souza e Cavalcante, 2016).

Durante o ano de 2016, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil alcançou o valor total de 150.338MW, no processo de expansão da capacidade instalada, as centrais hidráulicas contribuíram com 55,6%, as centrais térmicas com 18,1% e as usinas eólicas e solares foram responsáveis por 26,3%.

No Brasil, a produção de energia a partir de fontes renováveis é identificada como uma das ferramentas para alcançar o desenvolvimento sustentável em termos econômicos e sociais,

a energia solar e eólica destacam-se neste contexto, entretanto, a produção de determinados sistemas de geração podem sofrer grandes variações dependendo de características como localização geográfica e formas de produção de energia, tais variações podem ultrapassar em 200% o desempenho destas tecnologias, sendo importante compreender esses atributos na determinação de plantas de geração de energia (Ribeiro et al, 2016).

Ao analisar cenários da implantação de energia fotovoltaica no Brasil, juntamente com as políticas para habitação de baixa renda, os mesmos indicam que a energia fotovoltaica é uma alternativa viável, ambientalmente e economicamente. A implantação entre quatro a sete painéis fotovoltaicos em cada residência seriam suficientes para atender às necessidades básicas de uma família em todas as zonas de irradiação solar consideradas, tornando os moradores menos dependentes da rede de distribuição e capazes de fornecer 47% da sua produção à rede, por um período de até 30 anos (Pinto et al, 2016).

No sul do Brasil, historicamente, o Estado do Paraná tem sido um dos maiores produtores de eletricidade do país, quase que exclusivamente por fonte hidráulica, devido ao potencial de sua bacia hidrográfica. Entretanto, o uso desta fonte de energia encontra-se em declínio pelo crescente esgotamento do potencial hídrico e pela pressão da sociedade em relação aos impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelo represamento de rios, inundações de cidades e de grandes áreas para formar reservatórios (Tiepolo et al, 2014).

A Figura 2.5 apresenta a evolução do número de unidades de micro e minigeração de energia instaladas no Brasil desde 2012. O valor atingiu 5.040 em julho/agosto de 2016, dos quais 4.955 foram sistemas fotovoltaicos e o restante refere-se a sistemas eólicos. Embora a taxa de crescimento do setor seja notável, a pequena potência fotovoltaica total instalada alcançou em 2016 o modesto valor de 35,8KW, muito do qual altamente concentrado nos Estados de mais alta renda.

Considerando a avaliação da geração de energia fotovoltaica distribuída e questões relacionadas aos sistemas conectados à rede, mesmo com o consumidor residencial brasileiro fornecendo e subsidiando todo o projeto e a instalação do sistema residencial fotovoltaico, é no quadro de distribuição que essa relação é economicamente e comercialmente afetada, pois os micro geradores de energia de uso residencial ainda enfrentam a inviabilidade do projeto, sendo necessários maiores regulamentos e esforços do governo federal para disseminar, de forma eficaz, a cogeração de energia elétrica para consumidores residenciais (Camilo et al, 2017).

De acordo com Faria et al (2016), o Brasil possui uma matriz energética limpa, principalmente devido ao uso intensivo de energia hidrelétrica para geração de eletricidade,

como também pelo uso de etanol de cana de açúcar para o transporte. Entretanto, apesar de haver mecanismos específicos do mercado brasileiro, destinados a estimular o uso de energias renováveis, a energia solar é altamente inexplorada e subutilizada.

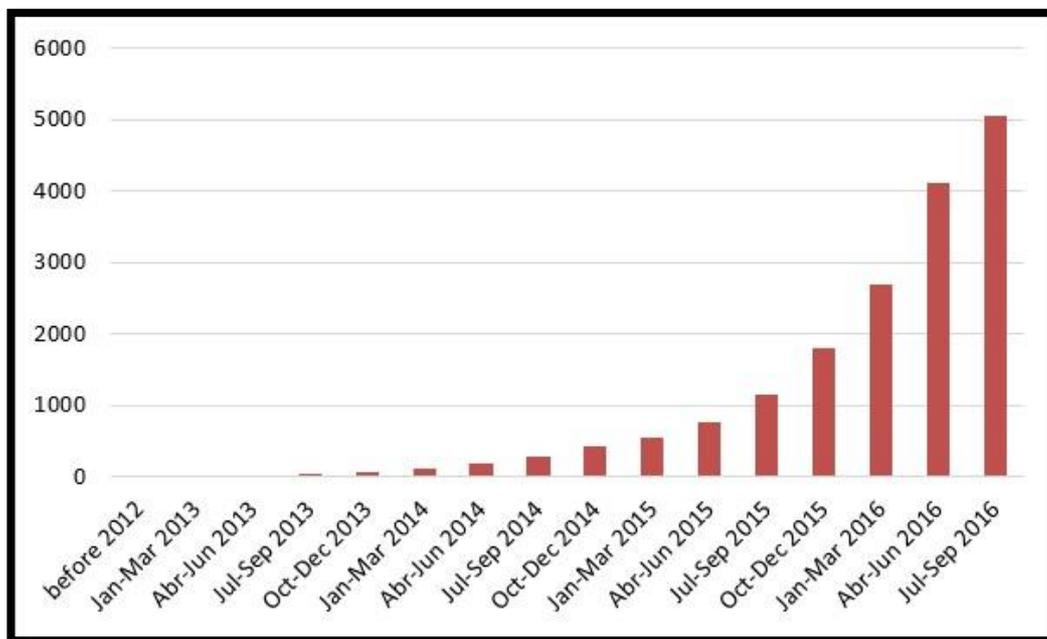


Figura 2.5: Sistemas de micro e minigeração instalados no Brasil (número de unidades).
Fonte: <http://www.aneel.gov.br>, consultado em fevereiro de 2016.

Os sistemas fotovoltaicos conectados a rede de distribuição, possuem um grande potencial para auxiliar na diversificação da matriz energética brasileira, devido às condições naturais favoráveis, mas algumas barreiras dificultam sua utilização em escala generalizada. As barreiras à implementação de sistemas fotovoltaicos possuem naturezas distintas, dentre elas destacam-se, questões técnicas, financeiras e políticas, com níveis de impacto distintos e peculiares de países subdesenvolvidos como o Brasil (Faria et al, 2016).

Em estudos realizados por Souza e Cavalcante (2016), ao abordarem a interconectividade, o capital e o conhecimento da indústria fotovoltaica brasileira, ressaltam que as atuais políticas do governo brasileiro são responsáveis por proporcionarem condições favoráveis para o surgimento de uma indústria nacional de produção de energia solar, pela crescente demanda de implantação de sistemas fotovoltaicos.

Ao abordarem conceitos como a "sociologia da globalização", Souza e Cavalcante (2016), destacam como parâmetros para a análise da experiência brasileira, as políticas chinesas direcionadas a energia fotovoltaica, salientando a importância de crescentes investimentos em energias renováveis nas economias emergentes e, o papel dos Estados nacionais de impulsionar a indústria de energia renovável como uma estratégia de inclusão econômica e social.

Em se tratando de países como o Brasil e a China, existem inúmeros fatores que explicam a preferência por sistemas de produção de energia fotovoltaica em detrimento da energia solar concentrada (CSP), dentre eles destacam-se o fato de ambos apresentarem regiões de seu território com baixo índice de desenvolvimento humano, com realidades sociais e econômicas típicas de países emergentes (Souza e Cavalcante, 2016).

A utilização da tecnologia fotovoltaica tem sido de fato objeto de estudo em várias regiões do Brasil, que têm concluído de uma forma geral no seu interesse.

Em estudo de caso de uma pequena propriedade rural localizada no sul do Brasil, tornou-se possível o dimensionamento e simulação de um sistema de energia fotovoltaico-eólico acoplado a baterias, baseado no conceito de perda de probabilidade de fornecimento de energia, o mesmo pode ser utilizado por horas consecutivas, fato que possibilita o uso do modelo para energizar áreas rurais remotas, podendo ser produzido com custo mínimo e alta confiabilidade (Nogueira et al, 2014).

De acordo com Lacchini e Santos (2013), a comparação entre os custos da geração de energia elétrica fotovoltaica com as usinas térmicas a base de carvão, localizadas no Estado do Rio Grande do Sul, região sul do Brasil, que podem utilizar carvão extraído localmente, revela que o custo atual dos sistemas fotovoltaicos é 24% superior ao preço da rede, e 11% maior quando comparado às plantas a carvão.

Em estudos de caracterização observacional e modelagem empírica, Marques Filho et al (2016), realizaram levantamento de dados de radiação solar global, difusa e direta em superfície, na cidade do Rio de Janeiro, no Brasil, onde segundo as medições realizadas desde o ano de 2011 até o presente, constataram que todos os componentes da radiação solar apresentam um ciclo diurno bem definido, com picos máximos de radiação durante o horário de meio dia. Segundo Marques Filho et al (2016), as estimativas de radiação solar global e direta na cidade do Rio de Janeiro, apresentam um grande potencial de energia solar disponível em superfície, principalmente no verão, sendo que as variáveis de clareza e radiação solar difusa apresentam comportamentos semelhantes tanto no período de verão como no de inverno.

Segundo Jäger-Waldau (2017), estima-se que cerca de 110MW de capacidade acumulada dos sistemas fotovoltaicos estavam em operação no final do ano de 2016, cerca de 30MW dessa capacidade representavam sistemas isolados e fora da rede. Entretanto, em julho de 2017, mais de 400MW de produção de energia solar fotovoltaica estavam classificados como operacionais, incluindo o parque solar da Lapa, na Bahia, com 158MW.

Em julho de 2017, o Brasil lançou o seu plano de expansão de energia para os próximos 10 anos, projetando o país para atingir mais de 13GW de produção de energia solar fotovoltaica até o ano de 2026, onde se espera que as energias renováveis irão representar cerca de 48% de participação do mercado de energia até o ano de 2026. Neste contexto do cenário de referência futura, espera-se que plantas de grande porte deverão contribuir com uma produção de 9,7GW e os sistemas fotovoltaicos distribuídos deverão representar adicionalmente outros 3,5GW (Jäger-Waldau, 2017).

2.4 Aspectos Regulatórios da Energia Fotovoltaica no Brasil

No Brasil, existe uma autarquia de regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia do governo brasileiro, com caráter de Agência Reguladora do setor elétrico, assim definida como Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Criada pela Lei Nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996 e do Decreto Nº 2.335 de 1997, a ANEEL possui como atribuições principais, regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica no Brasil, de acordo com as políticas e diretrizes do governo federal brasileiro, tendo como sede a cidade de Brasília, localizada no Distrito Federal.

A ANEEL estabelece como missão principal, proporcionar benefício à sociedade, por meio de condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os diversos agentes. Dentre suas atividades principais destacam-se:

- Regulação da geração e produção da Energia Elétrica, incluindo os processos de transmissão, distribuição e comercialização;
- Fiscalização direta e indireta, por meio de convênios com órgãos estaduais, das concessões, das permissões e dos serviços de energia elétrica vigentes;
- Implementação das políticas e diretrizes do governo federal brasileiro, referentes ao processo de exploração da energia elétrica e do aproveitamento dos potenciais hidráulicos existentes no Brasil;
 - Estabelecimento de preços e tarifas;
 - Elucidação e solução, na esfera administrativa, das divergências entre os agentes estaduais e os consumidores finais, e;
 - Promoção, por meio de delegação do governo federal, das respectivas atividades de outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica em todo o território brasileiro.

2.4.1 Sistema Regulatório Brasileiro - Micro e Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica

Visando a aplicação dos conceitos de economia financeira, consciência socioambiental e auto sustentabilidade, em 17 de abril de 2012, entrou em vigor no Brasil a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, onde a mesma estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Segundo a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o avanço principal estabelecido é o fato de o consumidor brasileiro poder gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, fato este que inclui os sistemas fotovoltaicos de uso residencial ou industrial, inserindo a possibilidade do respectivo consumidor poder fornecer o excedente de sua produção para a rede de distribuição de sua localidade.

O adiamento de grandes investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição de energia, o baixo impacto ambiental causado na implantação das pequenas fontes de produção de energia, a redução do crescente processo de carregamento das redes, a diminuição das perdas e, principalmente, a diversificação da matriz energética foram as variáveis consideradas pelo Governo Brasileiro para a concepção desta resolução, gerando assim, um conjunto de estímulos para o fomento da geração distribuída de energia elétrica.

O Governo brasileiro, por meio da ANEEL, resolveu também fomentar o aumento do público alvo, bem como melhorar as informações na fatura de energia dos consumidores, publicando no ano de 2015 a Resolução Normativa nº 687/2015 que revisa a Resolução Normativa nº 482/2012, reduzindo-se assim os custos e o tempo para a conexão da microgeração e minigeração de energia, compatibilizando-se desse modo o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento.

Diante disso, a partir do dia 1º de março de 2016, passaram a vigorar as novas regras estabelecendo-se a permissão para uso de qualquer fonte de energia renovável e da cogeração qualificada, vigorando então os conceitos de minigeração distribuída para aquelas centrais com potência superior a 75kW, sendo menor ou igual a 5MW e, de microgeração distribuída para as centrais com potencia instalada de até 75kW, ambas que por meio de instalações de unidades consumidoras são conectadas a rede de distribuição (ANEEL, 2015).

Segundo ANEEL (2015), outro conceito que passou a vigorar no Brasil foi o de “auto consumo remoto” que é definido quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior a respectiva quantidade de energia consumida naquele mesmo período, o consumidor recebe créditos com validade de 60 meses, que podem ser utilizados para diminuir as faturas dos meses seguintes ou também serem utilizados para deduzir o consumo

de outras unidades consumidoras do mesmo cliente, localizadas em outras áreas de atendimento de uma mesma distribuidora.

Outras medidas, também adotadas, referem-se à possibilidade de instalações de gerações distribuídas em condomínios, incluindo os empreendimentos de várias unidades consumidoras, onde nesses modelos, a energia gerada pode ser dividida entre os condôminos em porcentagens estabelecidas pelos mesmos. O Brasil estabeleceu também o conceito de “geração compartilhada”, definindo a possibilidade que diferentes clientes interessados se unam em modelos de consórcio ou cooperativas, realizem as instalações de unidades de micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia produzida para fins de redução das faturas dos próprios cooperados ou consorciados (ANEEL, 2015).

Visando simplificar as regras dos procedimentos necessários para se conectar as unidades de micro e minigeração distribuída de energia as redes da distribuidora, foram concebidos formulários padrão para solicitações de acesso pelo cliente consumidor, com um prazo máximo para a distribuidora conectar usinas de até 75kW em 34 dias. A partir de Janeiro de 2017, tornou-se possível que os clientes consumidores pudessem fazer as solicitações e acompanharem os trâmites pela internet, dos seus respectivos pedidos, junto às distribuidoras de energia (ANEEL, 2015).

Neste caso, os sistemas de microgeração fotovoltaica funcionam do seguinte modo; durante o dia, o excedente de energia produzido é disponibilizado à rede, à noite, a rede devolve a energia à unidade consumidora e pode suprir as possíveis necessidades adicionais. Diante disso, caso a unidade consumidora necessite de energia proveniente da rede de distribuição, a mesma irá funcionar como uma espécie de “bateria”, armazenando a produção excedente até o momento de consumo noturno (ANEEL, 2015).

Criado o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, por meio da Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, nº 687/2015, o mesmo permitiu que o consumidor brasileiro pudesse instalar pequenos geradores, tais como painéis fotovoltaicos, microturbinas eólicas, entre outros, em sua unidade consumidora e trocasse a sua geração de energia com a empresa distribuidora local, objetivando reduzir os atuais valores das faturas de energia elétrica (Eletrobras, 2015).

O Ministério de Minas e Energia do governo brasileiro, editou em dezembro de 2015, a portaria nº 538/2015-MME que institui o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia (ProGD Elétrica), criando linhas de financiamento que fomentam e desoneram a importação de equipamentos, melhorando o retorno financeiro dos investimentos em micro geração de energia (Eletrobras, 2015).

Diante desse contexto, no Brasil, cabe exclusivamente ao consumidor, a iniciativa de instalação de fontes de micro ou minigeração de energia, a análise das relações custo/benefício, a localização das instalações físicas, os tipos de energia a serem produzidas; fotovoltaica, eólica ou biomassa, as tecnologias dos equipamentos e o porte das unidades geradoras. A ANEEL não estabelece padrões e custos dos geradores a serem utilizados nas plantas de produção de energia e também, não fomenta as iniciativas pessoais dos clientes por meio de condições de financiamento (ANEEL, 2015).

Ressalta-se ainda que, os consumidores pertencentes ao grupo A, conectados a rede de alta tensão, as suas respectivas faturas poderão ser zeradas quando a quantidade de energia produzida no mês for superior ou igual à quantidade de energia consumida, sendo a parcela da fatura correspondente à demanda contratada faturada normalmente. Diferentemente das unidades consumidoras pertencentes ao grupo B, de baixa tensão, pois ainda que a energia produzida seja superior ao consumo, a mesma deverá efetuar o pagamento referente ao custo de “disponibilidade”, ou seja, valores em reais equivalentes a 30kWh para sistemas monofásicos, 50kWh para sistemas bifásicos ou, 100kWh para sistemas trifásicos, respectivamente (ANEEL, 2015).

Segundo Dantas et al (2017), para considerar as perspectivas futuras e os cenários do setor elétrico brasileiro até o ano de 2030, faz-se necessário a análise de uma série de variáveis além das mudanças na população ou atividade econômica, incluindo; a disponibilidade de recursos, o desenvolvimento de padrões tecnológicos, a gestão ambiental e hábitos culturais. As previsões quantitativas podem revelar-se frágeis e uma alternativa consistente reside no desenvolvimento de cenários qualitativos.

Considerando o comportamento da sociedade como a variável principal do setor elétrico brasileiro, espera-se que os consumidores no futuro próximo, tenham um comportamento mais ativo, atribuindo maior importância à qualidade e a sustentabilidade dos serviços disponibilizados, demandando por novas tecnologias, novos modelos de negócios e um quadro regulatório menos intervencionista (Dantas et al, 2017).

2.5 A Região Norte do Brasil

O governo brasileiro reconheceu a eletricidade como sendo um direito do cidadão, fomentando o acesso a quase 15 milhões de pessoas desde o ano de 2003 no âmbito do programa "Luz para Todos". No entanto, partes consideráveis da região amazônica ainda não

têm acesso aos serviços de energia elétrica, notadamente devido às longas distâncias e aspectos geográficos desafiadores (Nerini et al, 2014).

Els et al (2012) apontam a necessidade de quebra de paradigmas de antigos modelos de distribuição de energia para a abertura de novos modelos de produção em áreas rurais da Amazônia, iniciando-se novos modelos descentralizados, estabelecendo e implementando parcerias entre o setor elétrico e os diversos atores locais, estaduais e federais.

Em 2015, a capacidade instalada de geração de energia elétrica das empresas Eletrobras, que são as empresas responsáveis pela geração e distribuição de energia na região norte do Brasil, totalizou a soma de 45.391,2MW, 1.235,6MW a mais que o ano de 2014. Atualmente, do total da capacidade instalada de geração de energia da companhia, 73% compõem os empreendimentos corporativos das empresas Eletrobras, 17% perfazem os empreendimentos compartilhados, incluindo a metade da capacidade de Itaipu Binacional e participações em consórcios e, 10% são referentes a participação proporcional das empresas Eletrobras em empreendimentos realizados por meio de Sociedades de Propósito Específico - SPEs (Eletrobras, 2015).

Na região norte do Brasil, a partir do ano de 2015, iniciou-se o processo de desverticalização da empresa Amazonas Energia que, neste momento, é titular da concessão para a exploração dos serviços públicos de distribuição de energia elétrica, de acordo com os termos contratuais celebrados em 21 de março de 2001, Contrato de Concessão nº 20/2001, e, nos termos do Contrato de Concessão nº 001/2010, celebrado em 22 de junho de 2010, que define as prerrogativas de geração de energia elétrica na região (Eletrobras, 2015).

No entanto, a atual concessionária do serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN), não pode desenvolver atividades de geração ou transmissão de energia ou mesmo deter participações societárias, de forma direta ou indireta, em empresas que desenvolvam tais atividades, visto que a mesma se encontra submetida às restrições previstas no parágrafo quinto do Artigo 4º da Lei brasileira nº 9.074, de 7 de julho de 1995 (Eletrobras, 2015).

Diante disso, em concordância com a legislação brasileira acima citada, iniciou-se o processo junto à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL para a implementação da desverticalização da empresa Amazonas Energia, separando atividades de geração das de transmissão de energia elétrica, a qual será registrada em nova sociedade, a Amazonas Geração e Transmissão S.A, o que foi autorizado por meio das Resoluções Brasileiras Autorizativas nº 4.244, de 16 de julho de 2013, e nº 4.836, de 16 de setembro de 2014 (Eletrobras, 2015).

Em 22 de junho de 2015, os acionistas da Eletrobras aprovaram o processo de desverticalização, durante a 162ª Assembleia Geral Extraordinária, conforme novo modelo aprovado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e que se encontra atualmente em andamento (Eletrobras, 2015).

Em 2016, um dos projetos que teve destaque na região, esteve relacionado à Pesquisa e Desenvolvimento, gerando energia elétrica por meio de placas fotovoltaicas flutuantes em um protótipo no reservatório da usina hidrelétrica de Balbina, localizada no Estado do Amazonas. O objetivo principal desse projeto é de se estabelecer um novo modelo de plantas híbridas de geração de energia, analisando a viabilidade econômica da geração de energia em larga escala e possíveis impactos ambientais (Eletrobras, 2015).

2.5.1 O Estado do Amazonas – Aspectos Demográficos, Históricos e Geográficos.

A região Amazônica possui uma área de aproximadamente 6,3 milhões de Km², dos quais aproximadamente cinco milhões encontram-se localizados em território brasileiro, tal região estende-se internacionalmente localizada nos territórios da Bolívia, Colômbia, Equador, Venezuela, Guiana e Peru. Limitada a oeste pela Cordilheira dos Andes, ao norte pelo Planalto das Guianas, ao sul pelo Planalto Central e a leste pelo Oceano Atlântico, a região da bacia amazônica é assim definida (IBGE, 2010).

De acordo com o IBGE (2010), no Brasil, o Estado do Amazonas possui uma área total de 1.559.146,876km², sendo o maior que as demais 27 unidades federativas brasileiras em dimensão territorial. Seus aspectos dimensionais são maiores que a soma das áreas da França, Espanha, Suécia e Grécia. Encontra-se limitado ao leste pelo Estado do Pará, ao sudeste pelo Estado de Mato Grosso, ao sul e sudoeste pelos Estados de Rondônia e Acre, ao norte pelo Estado de Roraima e pelo País da Venezuela, a noroeste pelo País da Colômbia e a oeste pelo País Peru.

O estado do Amazonas encontra-se dentro das condições climáticas descritas para a região amazônica, de acordo com o CENSO 2010, apresenta uma população total de 3.483.985 habitantes, dos quais 2.755.490 encontram-se em área urbana e 728.495 habitantes encontram-se dispersos em áreas rurais (IBGE, 2010).

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil - INPE, o importante fator que define o clima da região amazônica são as correntes de convecção, sendo as mesmas responsáveis pelo aquecimento da atmosfera tropical e suas variações de intensidade e posição determinam o tipo e a intensidade do clima na região. De acordo com tais padrões de

circulação atmosférica, a dinâmica climática na região Norte do Brasil, a região Amazônia brasileira é a de predominância de clima quente e úmido do planeta (INPE, 2017).

De acordo com Freitas (2011), ao se estudar as alterações estruturais da economia do Estado do Amazonas, realizou-se um painel panorâmico referente ao período de 1995-2008, constatando as oscilações e o crescimento relativamente acelerado do nível de produção e do produto interno bruto em uma série temporal encadeada, demonstrando que a economia do Estado obteve taxas mais elevadas que as demais regiões do Brasil.

No Estado do Amazonas, as despesas das famílias são referentes ao consumo de bens e serviços, pagamento de impostos diretos ao governo e a formação de poupança, já as receitas são provenientes das remunerações dos fatores Trabalho e Capital e, ainda, das transferências que podem vir de outras famílias, de empresas, do governo por meio de benefícios sociais e do setor externo (Freitas, 2011).

Ações que incentivam o estabelecimento de indústrias e a migração de pessoas, criam novos fluxos econômicos e novas territorialidades no espaço urbano-regional da região metropolitana de Manaus, essas ações são oriundas do Estado e do capital na Amazônia brasileira e que há muito produzem diversas transformações socioespaciais na região, algumas delas são denominadas de políticas públicas, e se manifestam em obras de infraestrutura, como a abertura de estradas e a instalação de serviços públicos, contribuindo em geral para a valorização dos terrenos (Souza, 2013).

2.5.2 A importância da Energia fotovoltaica no Amazonas

Em se tratando de aspectos quantitativos e de metas de abrangência, o Programa do Governo Federal Brasileiro “Luz para Todos”, se configurou em um dos mais audaciosos programas de distribuição e abastecimento de energia elétrica já implementados no Brasil, destacando-se pelo fato de mesmo objetivar alcançar toda região Norte do País (Reis Júnior, 2015).

Segundo Reis Júnior (2015), ao realizar uma avaliação do Programa no Estado do Amazonas, sob o aspecto da qualidade e continuidade do serviço de energia elétrica, constatou que o serviço prestado pelo programa carece de melhorias nos níveis de qualidade do fornecimento de energia elétrica, necessitando o uso de tecnologias adequadas, adoção de sistemas isolados de abastecimento e distribuição, com intuito de garantir o suprimento elétrico de forma eficiente, sustentável e economicamente viável em regiões remotas do Estado.

Durante o período de 1999 a 2013, os programas de eletrificação rural levaram o acesso à eletricidade para 16 milhões de habitantes no Brasil, entretanto, aproximadamente 155 mil famílias rurais ainda permanecem sem acesso à eletricidade na região amazônica, configurando comunidades muito isoladas que não podem ser atendidas pela expansão da rede elétrica existente, para fornecer energia elétrica a essas comunidades, a geração de energia a partir de gás e óleo foram as únicas opções tradicionalmente consideradas (Sánchez et al, 2015).

De acordo com Sánchez et al (2015), o governo brasileiro começou a considerar o uso de fontes renováveis de geração de energia para a eletrificação de comunidades isoladas na Amazônia, vários projetos experimentais foram implantados, destacando-se pequenas plantas de geração de energia hidráulica, geração a partir de biomassa, biocombustíveis, óleos vegetais, sistemas eólicos e solares, provando serem estas as opções mais convenientes e econômicas para geração de energia.

Ao analisar a região amazônica, Reis Júnior (2015) define que a universalização do fornecimento de energia elétrica deve considerar longas distâncias, dispersão demográfica, regime hidrológico, vocação energética regional e demandas locais das populações tradicionais da região. O investimento intenso em pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias adaptadas à região são fatores que definem a garantia do fornecimento de energia elétrica e a sustentabilidade dos empreendimentos locais.

Ao identificar os desafios nas estruturas institucionais, tecnológicas e de financiamento que operam o programa do governo federal “Luz para todos”, Gómez e Silveira (2015) propõem regulamentos na relação entre os novos agentes e comunidades, a implementação de tecnologias de geração de energia em pequena escala com base em recursos locais e, a geração de subsídios otimizados como mecanismos de conquista do acesso à eletricidade em áreas remotas.

Cavalcante (2015), em um contexto Amazônico, ao estudar o atendimento e inclusão juntamente com os impactos socioambientais da política pública de energia elétrica na construção da sustentabilidade, constatou que a universalização da energia elétrica na região corresponde a intenção de correção de um déficit social histórico, na perspectiva de viabilizar o acesso a um direito de cidadania imprescindível a promoção do desenvolvimento local e a inclusão social.

Gómez et al (2015), ao estudar o efeito de subsídios em soluções de energia renovável de pequena escala na Amazônia brasileira, constatou que as novas regras do programa nacional de eletrificação rural, que abordam a implementação de projetos de geração de

energia fora da rede com capacidade instalada de até 100kW, são benéficas para comunidades isoladas, pois reduzem o custo nivelado da eletricidade, favorecem as tecnologias de energia renovável e podem contribuir para reduzir as emissões de dióxido de carbono.

Ao analisar criticamente a proteção ambiental na Amazônia ocidental à luz da “teoria dos polos de crescimento”, Erminio (2017) aborda o caso da zona franca de Manaus no Estado do Amazonas, destacando o fato do País tentar compatibilizar crescimento econômico e preservação de seus biomas naturais.

De acordo com Erminio (2017), ao observar a situação do Brasil contemporâneo e a busca da compatibilização do crescimento econômico com os conceitos de sustentabilidade, definiu como variável importante a melhoria da qualidade de vida da população em meio à implantação de um Polo Econômico e Industrial, visto que o benefício socioeconômico deste modelo de desenvolvimento tem contribuído para a diminuição da devastação ambiental no Estado do Amazonas.

A Região norte do Brasil possui inúmeras comunidades isoladas desprovidas de acesso aos serviços de energia elétrica ou com acesso precário, entretanto, a referida região é a que dispõe de um dos maiores índices de incidência solar do País, tornando-se apta a receber investimentos para instalação de usinas solares fotovoltaicas (Souza, 2016).

Ao analisar o potencial de geração de energia solar na cidade de Manaus, por meio de dados de radiação solar, precipitação anual e velocidade média dos ventos, constatou-se que apesar da variação no regime de chuva dos últimos cinco anos, não houveram alterações significativas nos índices de radiação solar, fato este que possibilita a definição e o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos para a região metropolitana (Souza, 2016).

2.6 Barreiras e Incentivos no Brasil

Jannuzzi e De Melo (2013), ao analisarem sistemas fotovoltaicos (PV) conectados à rede no setor doméstico brasileiro e, as políticas e os impactos potenciais em um horizonte de tempo até o ano de 2030, concluíram que a tecnologia fotovoltaica apresenta boas oportunidades para o Brasil diversificar sua matriz energética, com benefícios econômicos e ambientais significativos. Entretanto, os mesmos evidenciam a ausência de objetivos claros e definidos da política energética nacional em estabelecer mecanismos de apoio a energia fotovoltaica, ocasionando uma adoção ineficiente e incipiente desta tecnologia e uma perda dos seus potenciais benefícios a longo prazo.

De Melo, Januzzi e Bajay (2016), ao analisarem o conceito de governança não convencional de energias renováveis no Brasil e na Alemanha, definem o Brasil como sendo

líder mundial no uso de fontes convencionais de energia renovável, como a hidrelétrica, enquanto a Alemanha vem obtendo excelentes resultados na promoção de fontes de energia renováveis não convencionais (NCRES), devido principalmente ao arcabouço legal do país em regulamentar e criar instituições de apoio ao desenvolvimento do mercado NCRES.

A comparação realizada entre os dois países evidencia que, apesar das situações energéticas e dos impulsores políticos serem diferentes, lições positivas podem ser extraídas da experiência alemã, com destaque ao fato do Brasil pensar nas NCRES como uma oportunidade estratégica de se desenvolver, confiando menos em combustíveis fósseis e grandes usinas hidrelétricas, descentralizando os setores de produção de energia, fazendo uso majoritário do seu enorme potencial solar, eólico e de biomassa, criando-se assim, um ambiente favorável para a indústria NCRES (De Melo et al, 2016).

Ao realizarem um estudo sobre a penetração das tecnologias de energia solar e eólica no Brasil, Martins e Pereira (2011) basearam-se em resultados de inquéritos amplamente distribuídos entre empresários, indústria, consumidores comerciais e residenciais, os autores concluíram que, embora as tecnologias da energia solar e eólica tenham um enorme potencial no Brasil, barreiras significativas como falta de informação fiável, custos elevados em comparação com fontes de energia hidroelétrica, infraestruturas escassas e principalmente, regulamentações pouco claras sobre questões administrativas, técnicas e jurídicas, retardam a transição do mercado para uma economia mais solar e eólica.

De acordo com Lacchini e Dos Santos (2013), comparando usinas de carvão na região sul do Brasil com a geração de energia fotovoltaica, os autores definem a fonte de energia solar como sendo uma alternativa possível e viável, por apresentarem características não poluentes, descentralizadas, rapidamente instaladas e que complementam as formas estabelecidas de geração de eletricidade da região.

Entretanto, apesar da quantidade de irradiação solar ser favorável ao uso prolongado da tecnologia fotovoltaica, os custos de capital e os impostos de importação não incentivam a ação empresarial a adotarem a energia fotovoltaica como modelo de melhor retorno de investimento. O custo da energia fotovoltaica é 24% maior do que o preço médio da energia praticada no Brasil, mas é 11% menor quando comparado com as plantas de carvão, considerando os efeitos a longo prazo, a energia fotovoltaica apresenta benefícios por serem autônomas, menos dependentes das linhas de transmissão e distribuição, e principalmente, ao fato da indústria de alta tecnologia ser um mecanismo de geração de emprego e renda (Lacchini e Dos Santos, 2013).

O território brasileiro é irradiado com energia solar de 1.500 a 2.300kWh/m²/ano, em comparação com 900 a 1.850kWh/m²/ano da irradiação presente na Alemanha, França, Itália e Espanha, diante disso, a utilização de energia fotovoltaica no Brasil está na eminência de se tornar uma atividade comercial e industrial sustentável, as perspectivas futuras são que esta tecnologia se torne cada vez mais uma opção atraente para os consumidores residenciais no País (Lacchini e Rüther, 2015).

Segundo Lacchini e Rüther (2015), ao analisarem a influência das estratégias governamentais sobre o retorno financeiro do capital investido em sistemas fotovoltaicos, localizados em diferentes zonas climáticas do Brasil, os mesmos expõem que a tecnologia fotovoltaica está começando a penetrar no mix de eletricidade, devido a consistente redução de preços de equipamentos fotovoltaicos em escala mundial, chamando a atenção de planejadores brasileiros e de ações governamentais, com intuito de iniciar um processo de diversificação da matriz energética vigente.

A avaliação dos efeitos de duas ações governamentais brasileiras sobre o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica no Brasil; A Resolução Normativa N°482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e o apoio financeiro do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, com intuito de apoiar os leilões federais de plantas de produção de energia fotovoltaica, geraram um total de 31 projetos de compra de energia, contemplando uma geração total de 890MW, em novembro de 2014 (Lacchini e Rüther, 2015).

Considerando o investimento inicial na ordem de US\$ 20.000, as cidades de Belo Horizonte e Fortaleza, são consideradas as melhores para se investir, com tempos de retorno de 11 e 8,9 anos e valores de taxa interna de retorno (TIR) de 7% e 7,8%, respectivamente, devido ao fato destas cidades apresentam os maiores valores de tarifas de energia da rede; 0,249 e 0,229US\$/kWh, respectivamente. Seguindo de Manaus e Porto Alegre, com tempos de retorno de 13,2 e 13,6 anos e TIR de 6,1% e 5,9% respectivamente, e Brasília com 15,8 anos de retorno e TIR de 5,2% a qual apresenta uma escassa atratividade. Entretanto, atualmente, o longo tempo de retorno e um valor de TIR muito próximo do custo do capital desencoraja o investidor residencial brasileiro (Lacchini e Rüther, 2015).

O Brasil ainda não viu nenhuma iniciativa com relação às cotas com operações de crédito de carbono, embora o país seja um participante do protocolo de Kyoto e, portanto, os respectivos países produtores de energia renovável podem se beneficiar das transações de crédito de carbono. Entretanto, atrasos e burocracia para a aprovação de projetos de

mecanismos de desenvolvimento limpo é um obstáculo contínuo que desencoraja novos produtores de participar desse sistema (Aquila et al, 2017).

No Brasil, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES exige que, 60% da tecnologia utilizada em projetos financiados por esta instituição, seja fabricada no país. Em muitos casos, o processo de fabricação depende de equipamentos específicos produzidos por multinacionais, fato este que expõe os investidores a variações nos custos de tecnologia e as taxas de câmbio. Nesse sentido, é importante a participação do governo com políticas de incentivo a curto prazo, como isenção e redução de impostos, especialmente impostos relacionados à importação (Aquila et al, 2017).

Com intuito de contribuir para o uso de energia elétrica de forma consciente em residências, Sousa Lima (2016) propõe um modelo de economia de eletricidade em ambientes inteligentes baseado no reconhecimento das atividades do usuário, definindo que o comportamento dos indivíduos será parte integrante de sistemas inteligentes no futuro.

Entretanto, Pacheco e Lamberts (2013), ao avaliarem a viabilidade técnica e econômica para a conversão em larga escala de edifícios residenciais, contemplando o conceito de “Passive House” amplamente difundidos na União Europeia e Estados Unidos, realizaram considerações climáticas e culturais e, concluíram que ao contrário dos países desenvolvidos, é a volátil política energética brasileira o principal obstáculo para a viabilização de empreendimentos sustentáveis no Brasil.

Na América Latina, excluindo o setor de energia hidrelétrica, as energias renováveis ainda enfrentam barreiras que atrasam o crescimento do setor. Muitos projetos contratados em leilões têm dificuldade de serem conectados à rede elétrica, ocasionando atrasos em iniciar o processo de operação. Além disso, o BNDES é a única agência que financia empresas de energia limpa, onde o setor elétrico brasileiro, assim como os países vizinhos, também apresentam várias incertezas regulatórias tornando o ambiente instável para os investidores de projetos de geração de energia renovável (Aquila et al, 2017).

Atualmente, o caso da energia solar fotovoltaica no Brasil, passa por um processo de aprendizagem regulatória, na transição dos modelos de geração e distribuição de energia. O papel de instituições regulatórias na abertura do mercado fotovoltaico em larga escala é fundamental, visto que as mesmas ainda criam barreiras para a adoção da geração distribuída de energia (Vazquez e Hallack, 2018).

No caso da estrutura do setor elétrico brasileiro, observa-se que somente quando os reguladores consideram a possibilidade de o atual sistema de produção centralizada estiver

bloqueado, a partir daí é que serão eliminadas as barreiras quanto à geração de energia solar distribuída (Vazquez e Hallack, 2018).

Em uma análise política da produção de energia elétrica distribuída no Brasil, dentro do alcance mais amplo dos objetivos de planejamento elétrico, que é uma das responsabilidades do Ministério Brasileiro de Minas e Energia, o mesmo ainda demonstra uma forte preferência para o regime centralizado e o potencial de uso da energia solar não é uma variável significativa, atualmente, os valores das taxas de eletricidade são um parâmetro de importante impacto, enquanto a aplicação do imposto fiscal sobre a circulação de bens e serviços (ICMS) possui efeitos negativos sobre o atual sistema (Garcez, 2017).

3. AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Neste capítulo, objetiva-se apresentar uma avaliação de três projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica para a área urbana da cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas no Brasil, suas características de consumo e suas possibilidades de instalação dos respectivos sistemas conectados a rede elétrica de distribuição de energia.

Este capítulo encontra-se dividido basicamente em 5 secções. Na secção 3.1 apresenta-se uma contextualização de diferentes autores a respeito do modelo *Net Metering* no mundo, analisando-se a situação atual e as diferentes visões sobre as perspectivas de desenvolvimento futuro; a secção 3.2 aborda o atual modelo de funcionamento da tecnologia fotovoltaica atualmente disponível no mercado; a secção 3.3 o dimensionamento dos sistemas solares fotovoltaicos dos estudos de caso são abordados de acordo com a perspectiva de suprimento de todas as demandas energéticas das referidas unidades consumidoras; a secção 3.4 aborda aspectos do dimensionamento dos sistemas solares fotovoltaicos dos estudos de caso e, a secção 3.5 faz-se uma análise da viabilidade econômica dos sistemas solares fotovoltaicos para os respectivos estudos de caso, considerando as características dos consumidores brasileiros como fator importante na aquisição de sistemas de geração de energia fotovoltaica.

A secção 3.3 que faz a caracterização dos estudos de caso, está subdividida nas seguintes subsecções; 3.3.2 aborda os valores da radiação solar na área urbana de Manaus; 3.3.3 apresenta o atual valor da tarifa de energia elétrica praticado no Estado do Amazonas para a Região Metropolitana de Manaus; 3.3.4 os atuais investimentos por Watt pico, incluindo o valor global dos equipamentos, o preço do projeto, frete, instalação e manutenção para a cidade de Manaus. Sendo os estudos de caso abordados na subsecção 3.3.6 para a unidade de consumo residencial, 3.3.7 para a unidade comercial de pequeno porte e, a subsecção 3.3.8 para a unidade comercial de médio porte, referente a Faculdade IDAAM.

3.1 O Modelo *Net Metering*

Em virtude de políticas nacionais vigentes em muitos países, como *Feed in Tariff* e *Net Metering*, houve um aumento excepcional na última década da instalação de sistemas fotovoltaicos em edifícios residenciais, onde vários usuários agora se deparam com a

necessidade de aumentar sua parcela de autoconsumo para otimizar os lucros de seus sistemas (Abdin e Noussan, 2018).

Nos últimos anos, os sistemas de armazenamento de energia adentraram no mercado com a promessa de fornecerem uma atualização para os sistemas fotovoltaicos existentes, de modo que tais sistemas de armazenamento de energia terão um impacto significativo na produção da energia elétrica em larga escala (Abdin e Noussan, 2018).

Nos EUA, ao se estudarem os mecanismos de *net metering* e controles de mercado, juntamente com a evolução de sistemas fotovoltaicos distribuídos instalados, constatou-se que o aumento substancial dos clientes norte americanos tem sido impulsionado por uma combinação de fatores, dentre eles; custos em declínio acentuado, inovações em linhas de financiamento e políticas de apoio que permitem aos clientes receberem uma compensação, no preço de varejo da eletricidade, pela geração de energia elétrica distribuída (Darghouth et al, 2016).

Além dos modelos de medição *net metering*, outros sistemas de medição podem ser concebidos para mensurar os serviços e preços fornecidos aos proprietários de geração distribuída de energia. Baterias ou outros dispositivos de armazenamento, provavelmente serão cada vez mais utilizados por clientes que buscam suavizar a geração de recursos intermitentes, a exemplo do Havaí, que introduziu recentemente uma compensação projetada para incentivar o armazenamento “*solar-plus*” ou os assim denominados de “*Self-Supply*” (Geffert e Strunk, 2017).

O sistema *net metering* é um novo conceito de medição de energia que se tornou uma tendência em vários países. Legisladores propõem leis relativas às fontes de energia limpa, com intuito de fomentar o mercado de energias renováveis e, que seus cidadãos obtenham créditos ou benefícios econômicos da geração em domicílios, sendo o modelo *net metering*, uma política de produção de eletricidade em que as fontes de energia renováveis residenciais são integradas as companhias de abastecimento elétrico (Hermias et al, 2016).

Ao se estudar a microeconomia da energia fotovoltaica residencial nos EUA, e considerar diferentes esquemas de preços para os custos de operação e manutenção da rede de distribuição, constatou-se que o modelo *net metering* promove mais benefícios ambientais e bem-estar social do que outras tarifas (Boero et al, 2016).

Na Suécia, do ponto de vista do consumidor, uma avaliação econômica da geração de energia solar fotovoltaica distribuída foi desenvolvida a partir dos impactos econômicos das demandas residenciais e, dos preços relativos ao uso e distribuição da energia em ambiente doméstico, demonstrando que, para as condições da população sueca, um esquema

mensal de preços líquidos de medição resultaria em um aumento das instalações fotovoltaicas por domicílio com capacidade nominal média de 4,2kWp por agregado familiar (Nyholm et al, 2017).

Nos últimos anos, a Índia obteve um aumento significativo da implantação de sistemas fotovoltaicos, fazendo-se necessário a revisão de suas políticas energéticas. O estudo da viabilidade dos mecanismos de *net metering* demonstrou ser capaz de acomodar diferentes categorias de consumidores, tornando-se assim em um modelo de medição de rede adaptável as especificidades da região (Thakur e Chakraborty, 2016).

Várias regiões da bacia do Mediterrâneo experimentam o fenômeno de queda nos preços da energia elétrica de fonte solar, sendo um sinal de que a tecnologia fotovoltaica tornou-se competitiva com os demais modelos convencionais de geração de energia e pode continuar a desenvolver-se sem suporte. Koumparou et al (2017), conceberam assim, uma metodologia que identifica que o sistema *net metering* é um modelo mais apropriado para a região, dado as particularidades e condições locais para os sistemas fotovoltaicos residenciais.

Atualmente, além da busca pelo desenvolvimento sustentável, há uma crescente pressão para a mudança no padrão de consumo e produção de energia no Brasil, diante desse contexto, são oferecidos a isenção de impostos em alguns estados e o modelo *net metering* tornou-se um importante mecanismo de incentivo, promovendo a disseminação de pequenos sistemas solares fotovoltaicos (Rocha et al, 2017).

O impacto causado pela isenção do imposto fiscal sobre a circulação de bens e serviços (ICMS), define a viabilidade da implantação de sistemas fotovoltaicos no Brasil, principalmente dos projetos de microgeração de energia distribuída, destacando-se o fato de que a isenção de impostos atende diretamente os objetivos de incentivar o desenvolvimento da indústria e comércio, a exemplo da indústria fotovoltaica (Rocha et al, 2017).

Vale et al (2017), durante análise da viabilidade econômica de um projeto de geração de energia fotovoltaica, aplicado ao programa de habitação do governo brasileiro "Minha Casa Minha Vida", considerou diversos indicadores de viabilidade econômica para um período de operação de 25 anos. De acordo com os resultados obtidos, o impacto causado pela isenção de ICMS garante uma vantagem de investimentos em diferentes regiões do Brasil (Vale et al, 2017).

3.2 Tecnologia Fotovoltaica

Visando decodificar as informações amplamente difundidas na literatura a respeito de como funcionam um sistema de geração de energia fotovoltaica, definiremos a seguir de forma simplificada, uma breve explanação a respeito dos componentes que fazem parte de um sistema solar fotovoltaico.

Com o objetivo de transformar a energia solar em eletricidade, o sistema fotovoltaico é composto por um conjunto de componentes básicos, agrupados em três categorias distintas; o gerador, o condicionador de potência e o armazenamento. Cada categoria é formada por um conjunto de componentes com funções específicas dentro do sistema.

A categoria de geração é composta por painéis solares, estruturas de suporte e cabos. Os painéis solares são responsáveis pela transformação da energia solar em energia elétrica, funcionando em um conjunto de células fotovoltaicas que possuem elétrons, que ao serem atingidos pela radiação solar, movimentam-se, gerando uma corrente de eletricidade.

O número e a dimensão dos painéis fotovoltaicos variam em função das demandas de cada unidade consumidora e da área total disponível para a implantação desses sistemas, como requisito técnico, é necessário que as áreas disponíveis para a instalação de painéis solares sejam áreas que possuam maior incidência solar, com ausência de sombras interferentes. Os painéis podem ser de três modelos distintos; monocristalinos, policristalinos, e de filme fino, onde os mesmos possuem uma vida útil média de 25 anos.

As estruturas de suporte compõem os materiais que são projetados para suportar e servir de apoio aos painéis solares, essas estruturas dependem do tipo de painel solar a ser instalado, do ângulo de inclinação, dos locais de instalação e dos materiais aos quais essas estruturas de suporte são formadas. Normalmente, estes componentes são de estrutura metálica, podendo possuir inclinação fixa, estruturas fixas com ângulos de inclinação ajustável, e os modelos tipo *trackers*, que possuem diferentes níveis de ajuste para adequarem-se aos ângulos de incidência solar.

Os cabos a serem utilizados irão depender exclusivamente dos tipos de painéis escolhidos para compor o sistema e da distância entre os componentes, estes possuem a função de interligar os componentes do sistema e promover o fluxo de energia entre eles. Os modelos de cabos a serem utilizados nos sistemas fotovoltaicos são os de módulo ou fileira, feitos de cobre com isolamento termoplástico, que possam garantir a proteção contra falhas e curto-circuitos. Os cabos principais DC fazem a ligação entre o gerador e o inversor, e os cabos que ligam o inversor à rede receptora são denominados de cabos do ramal AC.

A categoria de condicionadores de potência é composta por inversores e controladores de carga. Os inversores podem carregar baterias caso estejam associados a um gerador, sua principal atividade dentro do sistema fotovoltaico reside no fato de transformar a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), ajustando a tensão da corrente conforme a necessidade do sistema.

No sistema solar fotovoltaico, os painéis solares fornecem energia ao sistema na forma de corrente contínua, sendo esta a forma na qual as baterias também recebem e fornecem energia. Entretanto, grande parte dos equipamentos eletrônicos utiliza a energia na forma de corrente alternada, e, diante disso, é necessária a utilização dos inversores dentro do sistema.

Os controladores de carga são os componentes responsáveis pela proteção das baterias, controlando o processo de carga e descarga das mesmas, garantindo uma maior eficiência no armazenamento da energia produzida e prolongando a vida útil das mesmas.

Através de medições de tensão das baterias, os controladores monitoram a intensidade da corrente que flui para o sistema de armazenamento, conforme a bateria se aproxima de sua carga máxima, o controlador reduz a intensidade da corrente, permitindo a carga completa das baterias e impedindo o seu descarregamento a níveis não seguros, o que poderia prejudicar a integridade dos sistemas de armazenamento.

Algumas características principais dos controladores de carga são; proteção contra corrente reversa, controle de descarga, monitoramento do sistema, proteção contra sobre-corrente, opções de montagem e compensação de temperatura.

A categoria dos sistemas de armazenamento é composta pelos sistemas de baterias, onde as mesmas trabalham garantindo o fornecimento de energia para as unidades consumidoras, quando o processo estiver impedido de gerar energia, no caso de não haver a disponibilidade de energia solar, como em dias nublados ou durante o período da noite.

Atualmente, não são todos os sistemas fotovoltaicos que fazem uso ou necessitam de baterias, para os sistemas isolados que não são conectados à rede (*off-grid*), as baterias são essenciais para garantir o fornecimento contínuo de energia, no entanto, para os sistemas que são conectados à rede de energia elétrica (*on-grid*), a concessionária dos serviços de distribuição da energia faz o papel das baterias, suprimindo a demanda em dias nublados ou durante o período da noite. Ressalta-se que nos dias de hoje, existem diversos tipos de baterias e nem todas elas podem ser utilizadas nos sistemas fotovoltaicos, como por exemplo, as baterias utilizadas em automóveis.

No Brasil, os componentes utilizados na implantação de um sistema fotovoltaico devem possuir a certificação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro, que em 2014, realizou a implementação da Portaria Nº 357, com objetivo de se estabelecerem regras para os equipamentos de geração de energia fotovoltaica em todo o território nacional.

3.3 Caracterização dos Estudos de Caso

Visando a aplicação dos conceitos de simulação de projetos de aproveitamento solar fotovoltaico e de aspectos da economia financeira, salientando a necessidade de desenvolvimento socioambiental e da auto sustentabilidade do consumo de energia elétrica na região metropolitana de Manaus, realizaram-se três estudos de caso de simulação da implantação de possíveis sistemas fotovoltaicos, conectados a rede de distribuição de energia elétrica na área urbana da cidade de Manaus.

A simulação teve por base a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, de 17 de abril de 2012, que entrou em vigor no Brasil com intuito de se estabelecerem condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída, podendo o consumidor brasileiro gerar energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Incluem-se assim, os sistemas fotovoltaicos de uso residencial ou industrial, e a possibilidade do respectivo consumidor poder fornecer o excedente de sua produção para a rede de distribuição de sua localidade.

Considerando também a Resolução Normativa nº 687/2015, publicada no ano de 2015, a qual revisa a Resolução Normativa nº 482/2012, reduzindo-se assim os custos e o tempo para a conexão da microgeração e minigeração de energia, compatibilizando-se desse modo o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento.

Em 2012, foram definidos os conceitos de minigeração distribuída para aquelas centrais com potência superior a 75kW, sendo menor ou igual a 5MW e, de microgeração distribuída para as centrais com potência instalada de até 75kW, ambas que por meio de instalações de unidades consumidoras são conectadas a rede de distribuição.

Diante destes fatos, neste trabalho, apresentam-se 2 estudos de caso de simulação de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica, que se enquadram no perfil de microgeração distribuída. O primeiro pertencente a uma unidade residencial e o segundo refere-se a uma unidade comercial de pequeno porte, a escola de educação infantil CEIA. O terceiro estudo de caso refere-se a uma unidade comercial de médio porte, pertencente ao espaço físico da faculdade IDAAM, este terceiro caso de simulação se enquadra no perfil de

minigeração distribuída, uma vez que considera a possibilidade da potência do sistema ser superior a 75kW.

Os três estudos de caso apresentados, se enquadram nos conceitos que passaram a vigorar no Brasil com Resolução Normativa nº 687/2015, de “auto consumo remoto” e “créditos de energia”.

Esta resolução estabelece que, se a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à respectiva quantidade de energia consumida no mesmo período, o consumidor recebe créditos com validade de 60 meses, que podem ser utilizados para diminuir as faturas dos meses seguintes ou também serem utilizados para deduzir o consumo de outras unidades consumidoras do mesmo cliente, localizadas em outras áreas de atendimento da mesma distribuidora. Entretanto, tais excedentes na produção de energia não podem ser revertidos em dinheiro ao cliente gerador, somente na forma de créditos, sendo estes os exemplos do presente estudo de caso.

Neste caso, os respectivos sistemas de mini e microgeração fotovoltaica aqui discutidos funcionarão durante o dia, onde o excedente de energia produzido é disponibilizado à rede, e à noite, a rede devolve a energia à unidade consumidora e pode suprir as possíveis necessidades adicionais, a mesma irá funcionar de forma similar a uma “bateria”, armazenando a produção excedente até o momento de consumo noturno.

No entanto, ressalta-se que, as respectivas unidades consumidoras aqui apresentadas pertencem aos chamados de grupo B, de baixa tensão, ou seja, ainda que as mesmas produzam energia superior ao consumo, as unidades deverão efetuar o pagamento mensal referente ao custo de “disponibilidade”, que equivale aos valores mínimos de entrega de energia, conforme padrão de conexão com a rede de 100kWh para os sistemas trifásicos, aos quais as mesmas pertencem.

Basicamente, são três variáveis que definem a viabilidade de um sistema fotovoltaico de uma determinada região no globo terrestre:

1. Radiação Solar ou Índice de Sol pleno.
2. Valor da tarifa de energia praticado na região.
3. Investimento por Watt pico (valor global dos equipamentos, incluindo projeto, frete, instalação e manutenção).

3.3.1 Radiação Solar ou Índice de Sol pleno da área urbana de Manaus

Para encontrar o tempo de exposição dos painéis solares a radiação solar e, obter-se as horas de sol pico, os dados de radiação solar foram coletados através de pesquisa realizada

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB sun data, durante o mês de abril de 2018, conforme mostra a Figura 3.1.

De acordo com o gráfico de irradiação solar, constatou-se que as horas de sol pico para a região metropolitana de Manaus possui um valor médio de 4,42kWh/m².dia, sendo a irradiação solar no plano inclinado, 0°N e no ângulo igual à latitude de 3°N, respectivamente, conforme mostra os dados mensais na Figura 3.2.

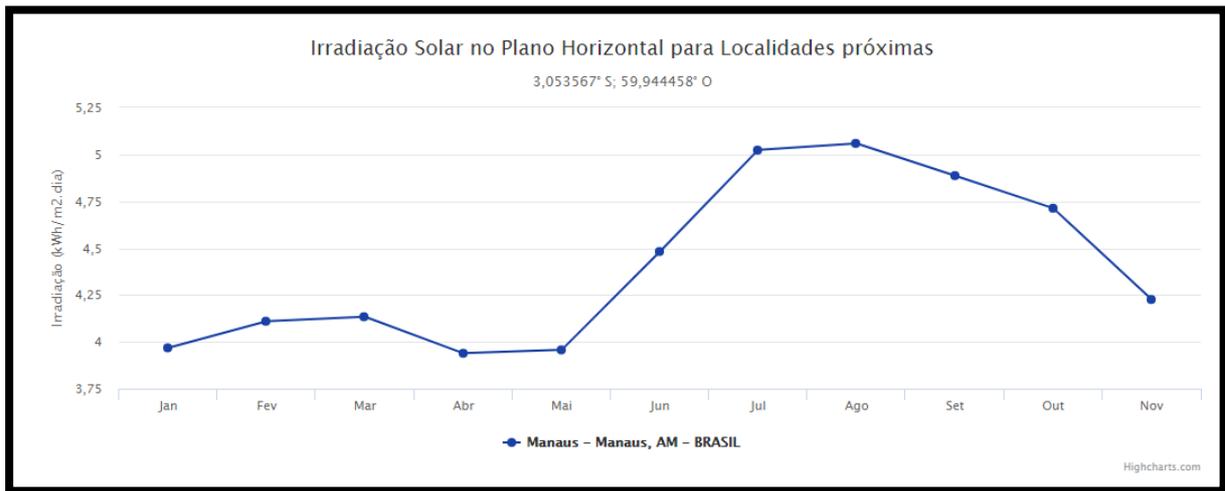


Figura 3.1: Gráfico de irradiação solar no plano horizontal para as localidades próximas correspondentes a área urbana de Manaus. Fonte: CRESESB, consulta realizada em abril de 2018.

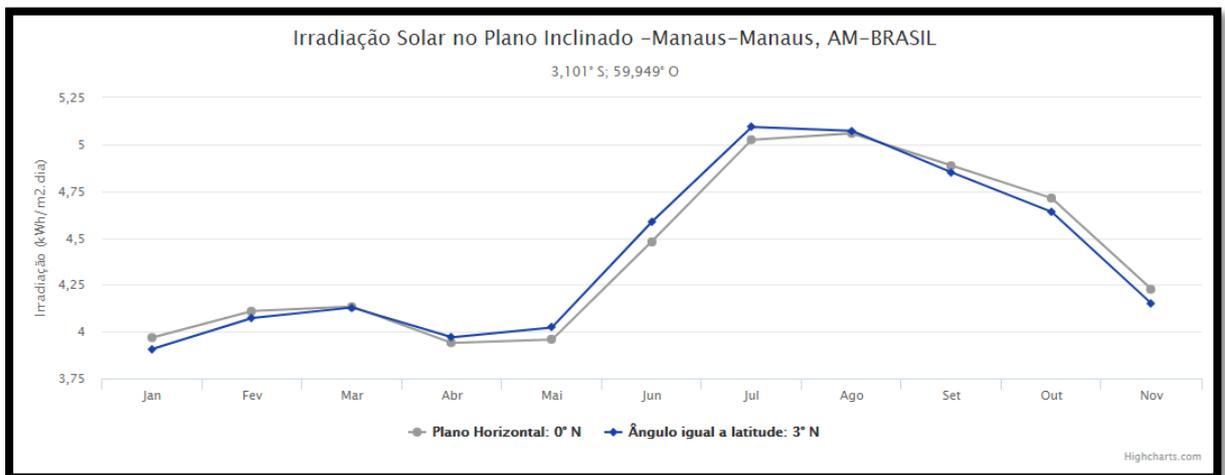


Figura 3.2: Gráfico de irradiação solar no plano inclinado (Plano horizontal de 0°N e ângulo igual à latitude de 3°N) para as localidades próximas correspondentes a área urbana de Manaus. Fonte: CRESESB sem data, consulta realizada em abril de 2018.

3.3.2 Valor da tarifa de energia praticado no Estado do Amazonas na Região Metropolitana de Manaus

Os valores apresentados na Figura 3.3, se referem às tarifas homologadas pela ANEEL, última modificação: 09/04/2018 10h48min expressas na unidade R\$0,604/kWh (reais por quilowatt-hora) e não contemplam tributos e outros elementos que fazem parte de sua conta de luz, tais como ICMS, Taxa de Iluminação Pública e Encargos de Capacidade Emergencial, sendo este último tributo a cobrança encerrada em 22 de dezembro de 2005.

Para as tarifas homologadas **a partir de 1.º de Julho de 2005**, os valores relativos à cobrança dos tributos PIS/PASEP e COFINS passaram a ser considerados também em destaque na conta de luz.

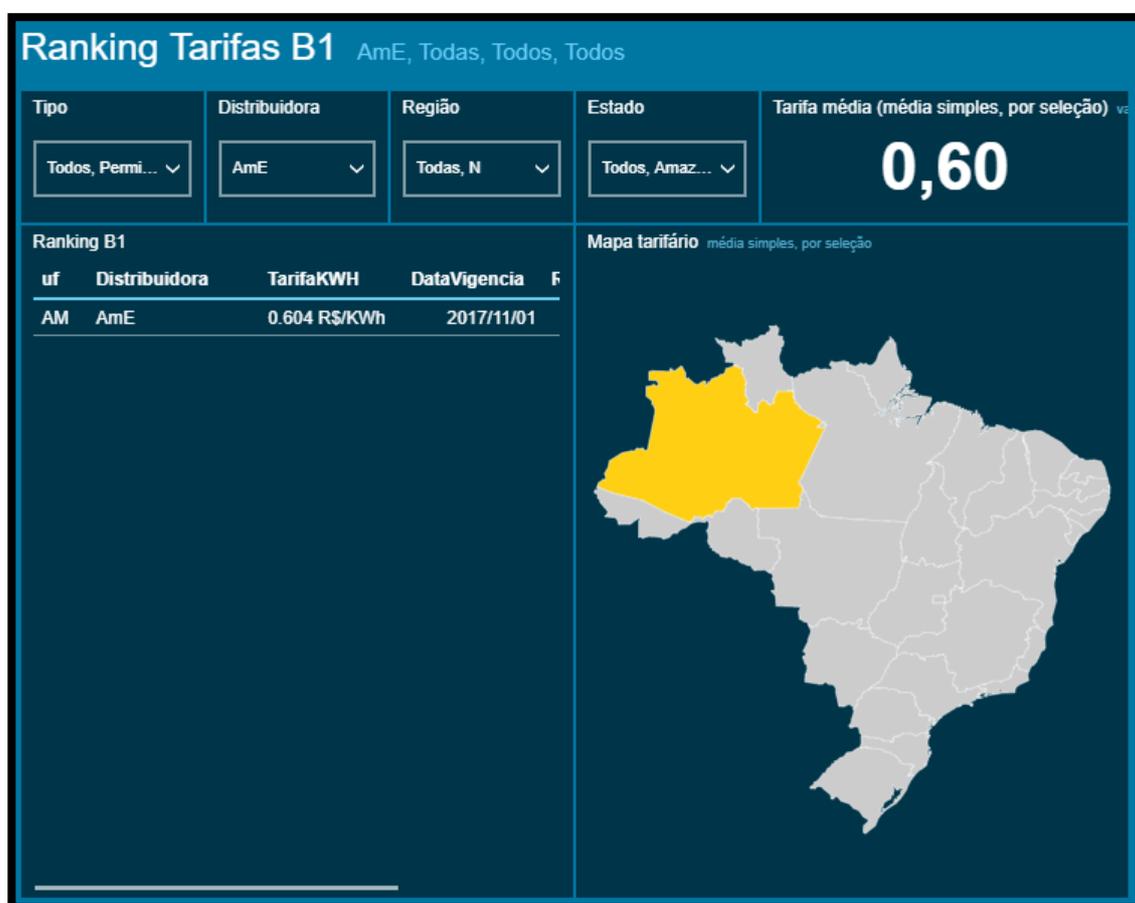


Figura 3.3: Valor referente a tarifa, expressas na unidade R\$/kWh, homologada pela ANEEL, cuja última modificação foi realizada em 09/04/2018 10h48min. Fonte: Site da ANEEL <http://www.aneel.gov.br>, consulta realizada em abril de 2018.

A tarifa visa assegurar aos prestadores dos serviços, receita suficiente para cobrir custos operacionais eficientes e remunerar investimentos necessários para expandir a capacidade e garantir o atendimento com qualidade. Os custos e investimentos repassados às

tarifas são calculados pelo órgão regulador, e podem ser maiores ou menores do que os custos praticados pelas empresas.

Para cumprir o compromisso de fornecer energia elétrica com qualidade, a distribuidora tem custos que devem ser avaliados na definição das tarifas. A tarifa praticada no Brasil, considera três custos distintos a serem incorporados ao preço para o consumidor final, conforme apresentados na Figura 3.4.



Figura 3.4: Apresentação dos três custos considerados na definição das tarifas de Energia elétrica praticados no Brasil. Fonte: Site da ANEEL <http://www.aneel.gov.br>, consulta realizada em abril de 2018.

Além da tarifa, os Governos Federal, Estadual e Municipal cobram na conta de luz o PIS/COFINS, o ICMS e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente.

Desde 2004, o valor da energia adquirida das geradoras pelas distribuidoras passou a ser determinado também em decorrência de leilões públicos. A competição entre os vendedores contribui para menores preços. O transporte da energia (da geradora à unidade consumidora) é um monopólio natural, pois a competição nesse segmento não geraria ganhos econômicos. Por essa razão, a ANEEL atua para que as tarifas sejam compostas por custos eficientes, que efetivamente se relacionem com os serviços prestados. Este setor é dividido em dois segmentos, transmissão e distribuição. A transmissão entrega a energia a distribuidora, a distribuidora por sua vez leva a energia ao usuário final.

Os encargos setoriais e os tributos não são criados pela ANEEL e sim, instituídos por leis. Alguns incidem somente sobre o custo da distribuição, enquanto outros estão embutidos nos custos de geração e de transmissão.

Quando a conta chega ao consumidor, ele paga pela compra da energia (custos do gerador), pela transmissão (custos da transmissora) e pela distribuição (serviços prestados pela distribuidora), além de encargos setoriais e tributos.

Para fins de cálculo tarifário, os custos da distribuidora são classificados em dois tipos: A parcela A referente à compra de energia, transmissão e encargos setoriais e, a parcela B referente à distribuição de energia.

Conforme se observa na Figura 3.5, os custos de energia representam atualmente a maior parcela de custos (53,5%), seguido dos custos com Tributos (29,5%). A parcela

referente aos custos com distribuição, ou seja, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa 17% dos custos das tarifas.

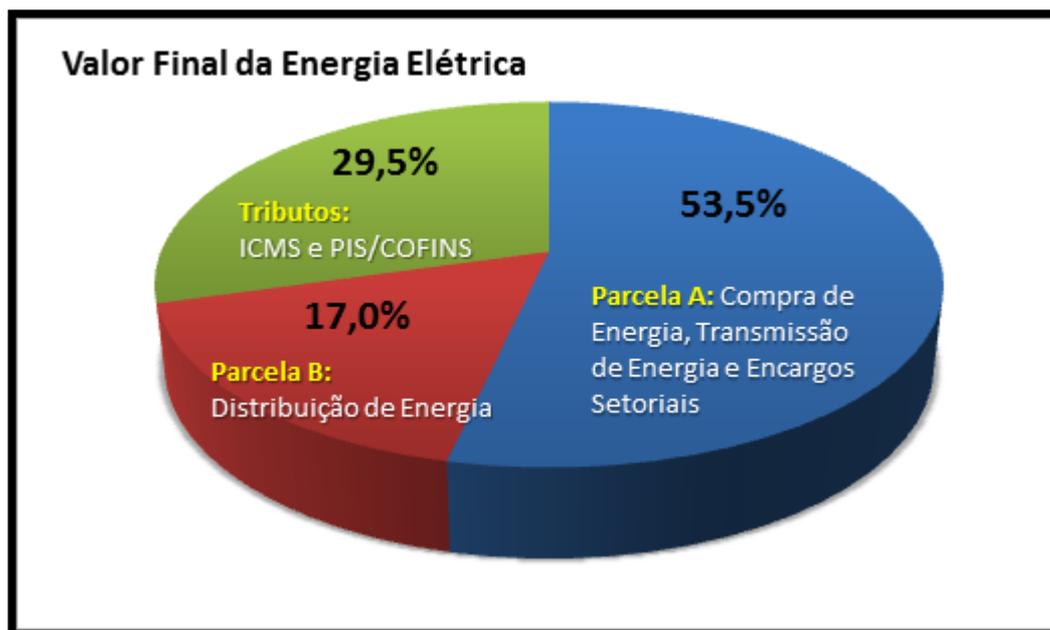


Figura 3.5: Valor final referente às parcelas correspondentes a composição da cobrança da tarifa de energia elétrica praticada no Brasil. Fonte: site da ANEEL <http://www.aneel.gov.br>, consulta realizada em abril de 2018.

3.3.3 Investimento por Watt pico (valor global dos equipamentos, incluindo projeto, frete, instalação e manutenção) para a cidade de Manaus.

No Brasil, o custo de um sistema de energia solar fotovoltaico depende de vários fatores, principalmente da localização, das dimensões do sistema e da complexidade da instalação. A grande variação dos preços entre os diversos fornecedores está relacionada à qualidade dos componentes utilizados e do porte da empresa.

Em Janeiro de 2018, de acordo com consulta e pesquisas realizadas junto às empresas que vendem e instalam equipamentos fotovoltaicos no Brasil, cadastradas no Portal Solar <https://www.portalsolar.com.br>, observou-se a seguinte variação de preços praticados no ano de 2018 para sistemas fotovoltaicos completos de uso residencial:

- Sistemas de 1,6Kwp variam entre \$ 3.920 a \$ 4.860.
- Sistemas de 2,2Kwp variam entre \$ 4.622 a \$ 5.657.
- Sistemas de 3,3Kwp variam entre \$ 6.428 a \$ 7.463.
- Sistema de 4,4Kwp variam entre \$ 7.727 a \$ 9.658.
- Sistema de 5,3Kwp variam entre \$ 8.310 a \$ 9.643.
- Sistemas de até 10Kwp variam entre \$ 13.798 a \$ 16.307.

3.3.4 Localização e Acesso

Os três estudos de caso apresentados representam edifícios com necessidades energéticas diferentes, sendo todos situados na área urbana de Manaus. A Região Metropolitana de Manaus possui uma área total de 127.168,682km², compreendendo em seu território os 13 municípios; Autazes, Careiro, Careiro da Várzea, Itanduba, Itacoatiara, Itapiranga, Manacapuru, Manaquiri, Manaus, Novo Airão, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva e Silves, conforme mostrado no mapa da Figura 3.6. A respectiva região metropolitana de Manaus possui aproximadamente as mesmas dimensões de algumas nações como, Islândia (103.000km²) e Coreia do Sul (99.538km²), e uma área superior a países como Hungria (93.032km²) e Portugal (92.391km²), (IBGE, 2017).

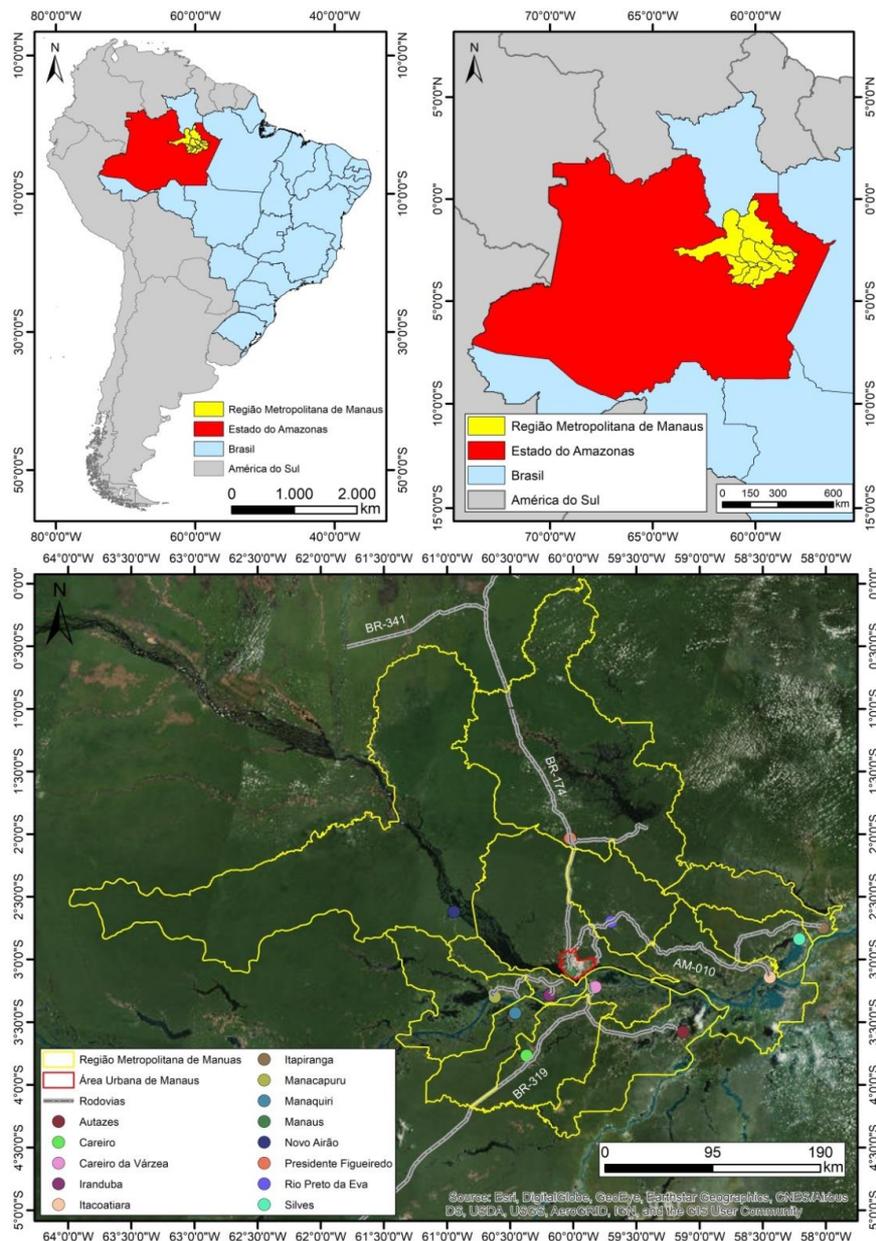


Figura 3.6: Mapa de localização e acesso da região metropolitana de Manaus.

Com cerca de 2,6 milhões de habitantes, é a décima primeira cidade mais populosa do Brasil, abrigando 64% da população do seu Estado. A mesma representa 84% da economia do Estado do Amazonas, seu produto interno bruto (PIB) somava em 2014 cerca de R\$ 73,130 bilhões de reais, dos quais cerca de 92% pertenciam somente à cidade de Manaus, (IBGE, 2017).

A Região Metropolitana de Manaus também está localizada estrategicamente em relação aos países da América Latina e aos Estados Unidos, possuindo condições de navegabilidade o ano inteiro para o oceano atlântico, entretanto, o Aeroporto Internacional de Manaus é a principal porta de entrada da Amazônia com voos diretos e regulares para Miami, Cidade do Panamá e Caribe. A mesma possui também acesso via rodovia através da BR174, que conecta Manaus a Venezuela e assim, aos demais países da América Latina.

3.3.5 Unidade Residencial

O Allegro Residencial Club é um condomínio residencial fechado, composto por um complexo de 50 torres de 4 andares cada, perfazendo um total de 1.600 (um mil e seiscentos) unidades de apartamentos residenciais, distribuídas entre unidades de apartamentos de 2 quartos com suíte (60,49m²), apartamentos de 2 quartos (54,07m²) e apartamentos de 3 quartos com suíte e varanda (73,07m²).

A área de uso comum do condomínio é composta por áreas destinadas ao lazer, atividades lúdicas, festas e atividades desportivas, perfazendo um total de 52.500,00m² de área permeável e arborizada, conforme ilustrado na Figura 3.7. O referido condomínio localiza-se na Avenida Torquato Tapajós, bairro Colônia Terra Nova, zona norte de Manaus.

A unidade residencial, objeto do presente estudo de caso, localiza-se dentro deste complexo conforme mostra a Figura 3.8, apresentando-se com um total de 54,07m², fazendo parte do grupo de unidades residenciais compostos por 02 quartos e uma vaga de garagem.

Com os crescentes e elevados custos mensais das faturas de energia elétrica, inúmeras famílias no Brasil tentam economizar de todas as formas suas despesas com os gastos elétricos, seja desligando aparelhos eletrônicos ou pela diminuição das horas de funcionamento dos mesmos, visto que a conta de energia está entre os custos mais elevados no orçamento das famílias brasileiras.

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro



Figura 3.7: Mapa de localização da unidade residencial pertencente ao condomínio Allegro Residencial Club.

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro



Figura 3.8: Fotos 01-06. Vista da área externa do condomínio Allegro Residencial Club, fotos retiradas do site da Direcional Engenharia.

A Figura 3.9 apresenta os valores do comportamento do consumo mensal de eletricidade para uma unidade residencial familiar, composta por 03 moradores, referente ao período de 2016 e 2017. Durante esse período, o menor consumo refere-se ao mês de julho de 2017 (254 kWh), correspondente ao período chuvoso em que a família utilizou menos os sistemas de ar condicionados. O maior consumo registou-se durante o mês de Janeiro de 2016 (571 kWh), que esteve relacionado ao período férias em que a família permaneceu em casa, apresentando maiores demandas energéticas. Durante os anos de 2016 e 2017, o consumo médio mensal da residência foi de 371kWh.

A Figura 3.10, apresenta os valores em dólar americano, referentes ao faturamento mensal do consumo energético da unidade residencial, durante os anos de 2016 e 2017. Foi realizada a cotação da moeda americana (US\$) em 24.01.2018, onde 1 real correspondia a

US\$ 0,3136. Durante esse período, o menor valor de fatura refere-se ao mês de julho de 2017 (254 kWh) equivalendo ao total de US\$ 63,47 e o valor de maior faturação foi durante o mês de março de 2016, US\$ 97,41 que esteve relacionado ao faturamento normal do consumo energético e aos ajustes das tarifas de energia praticados no Brasil a partir do respectivo período do ano. Durante os anos de 2016 e 2017, o consumo médio mensal em dólar americano foi de US\$ 84,58.

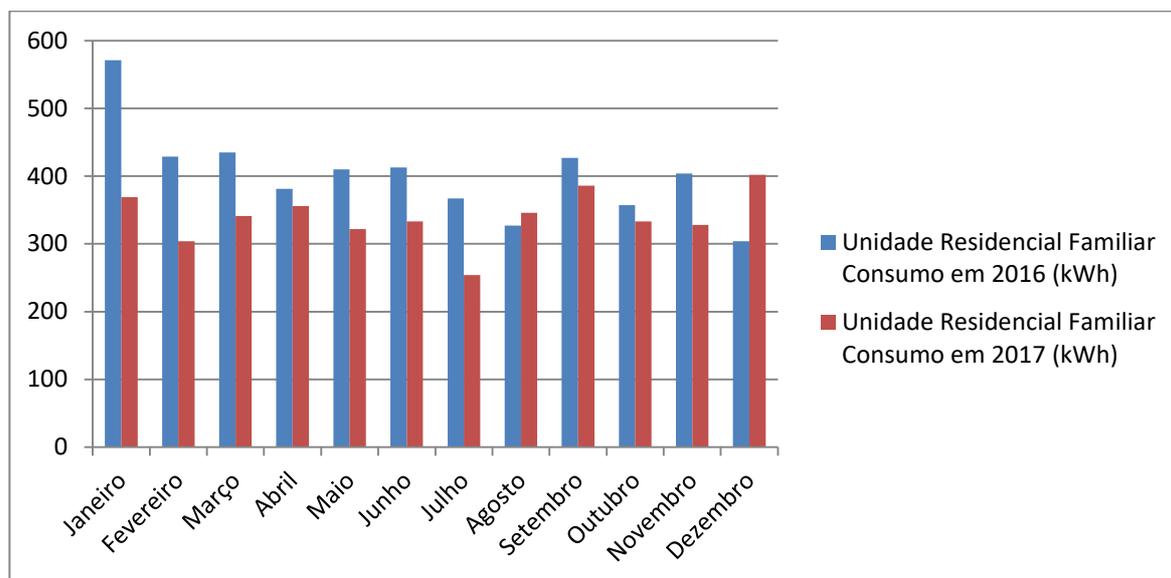


Figura 3.9: Consumo energético em kWh de uma unidade residencial familiar em Manaus, durante os anos de 2016 e 2017.

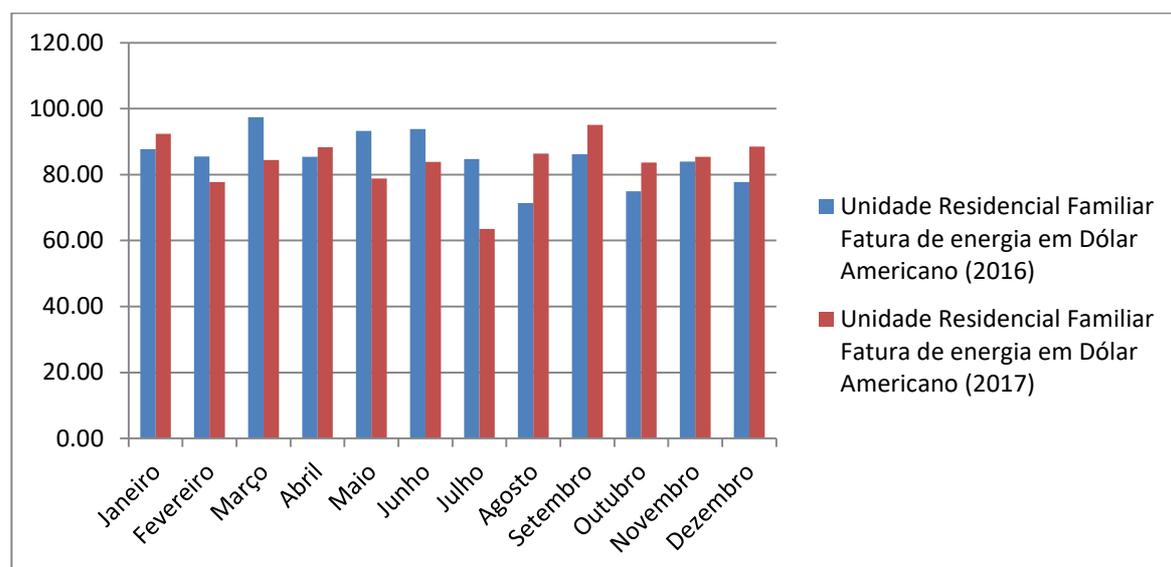


Figura 3.10: Faturamento mensal de energia de uma unidade residencial familiar em Manaus, durante os anos de 2016 e 2017. Cotação do dólar americano (1 real=0,3136 dólar) realizado em 24/01/2018.

A unidade residencial pertence a uma família de Manaus, composta por 03 pessoas adultas, que possuem um comportamento tipicamente urbano, os membros da família trabalham durante o dia e retornam ao ambiente familiar durante o final da tarde e início da noite, ou seja, de segunda a sexta-feira o consumo de energia é predominantemente noturno, aos finais de semana o consumo de energia ocorre durante os períodos do dia e da noite.

Como tal, o período de consumo energético não coincide com o período de irradiância solar elevado, tornando este estudo de caso adequado às especificidades de uma família típica da região norte do país, onde o excedente da geração de energia produzida durante o dia seria injetado à rede e, durante o consumo elevado de energia pelo período da noite, com a refrigeração dos quartos para o período de sono, a residência captaria a energia da rede elétrica de distribuição.

3.3.5 Unidade comercial de pequeno porte - Escola CEIA

A assim denominada unidade comercial de pequeno porte é o Centro de Educação Infantil Aliança – CEIA, que se encontra localizado no bairro Alvorada, zona Centro Sul da cidade de Manaus. Tal localização geográfica, conforme é apresentado na Figura 3.11, é carente de instituições que ofereçam a formação em Educação Infantil. Em virtude da demanda e procura dos pais das crianças em suprir a necessidade de educar seus filhos, foi criado este espaço com o objetivo de oferecer a comunidade os serviços de educação básica para crianças na fase da primeira infância.

No Brasil, a educação das crianças até aos 4 anos de idade não é disponibilizada pelo Governo Federal e, é opcional aos Estados e Municípios disponibilizarem este serviço às famílias brasileiras. Diante desse fato, numerosas escolas de educação infantil são de iniciativa privada e visam atender a crescente demanda da sociedade. Em Manaus, o CEIA - Centro de Educação Infantil Aliança, trabalha com crianças entre 2 e 6 anos de idade, oferecendo serviços de alfabetização bilingue (português - inglês), alimentação saudável, educação ambiental e atividades recreativas, conforme mostra a Figura 3.12.

Atualmente, com os crescentes custos da eletricidade praticados no Brasil, várias escolas e empreendimentos comerciais de pequeno porte estão buscando alternativas para economizar eletricidade e garantir o suprimento de suas demandas de energia, já que a conta de energia está entre os custos mais altos de operar as respectivas unidades comerciais.

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

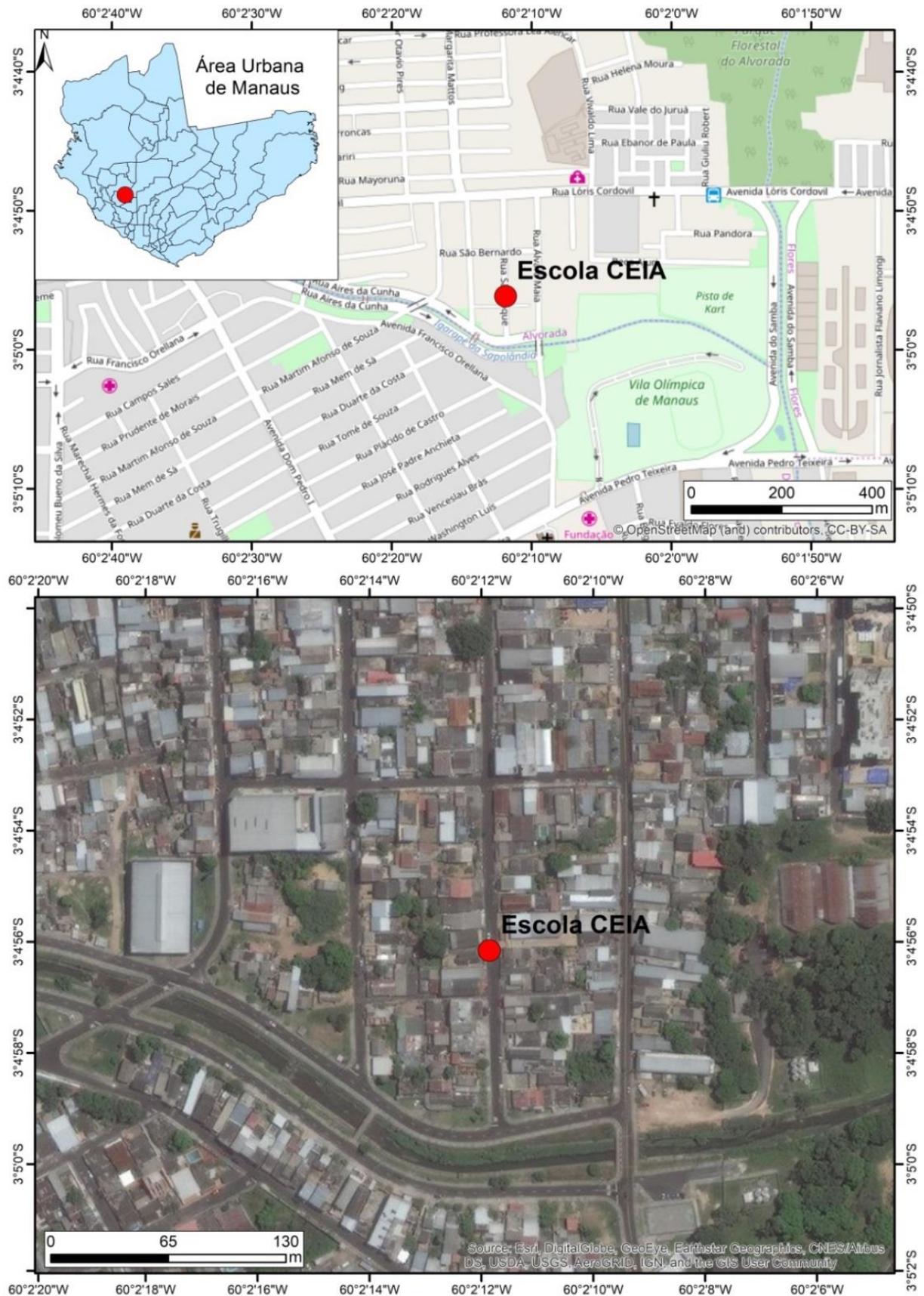


Figura 3.11: Localização da unidade comercial de pequeno porte, Escola CEIA - Centro de Educação Infantil Aliança.

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro



Figura 3.12: Fotos 07-12. Vista da área interna e externa da escola CEIA.

A Figura 3.13 apresenta os valores do comportamento do consumo mensal de eletricidade (em kWh) para a Escola CEIA, referente ao período de 2016 e 2017. Durante esse período, o menor consumo refere-se ao mês de fevereiro de 2016 (108kWh) que esteve relacionado ao período de férias e o maior consumo foi durante o mês de Janeiro de 2016 (834kWh), que esteve relacionado ao período de colônia de férias, onde ocorreram altas temperaturas e consequentemente, altas demandas por resfriamento. Durante os anos de 2016 e 2017, o consumo médio mensal foi de 637kWh.

A Figura 3.14, apresenta os valores em dólar americano, referentes ao faturamento mensal do consumo energético da Escola CEIA, durante os anos de 2016 e 2017. Foi

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

realizada a cotação da moeda americana (US\$) em 24.01.2018, onde 1 real correspondia a US\$ 0,3136. Durante esse período, o menor consumo refere-se ao mês de fevereiro de 2016, cujo valor da fatura foi de US\$ 43,03 referindo-se ao período de férias da escola, e o valor de maior faturação foi durante o mês de março de 2016, US\$ 187,33, que esteve relacionado aos ajustes dos preços das tarifas de energia elétrica praticados no Brasil. Durante os anos de 2016 e 2017, a faturação média mensal foi de US\$ 148,83.

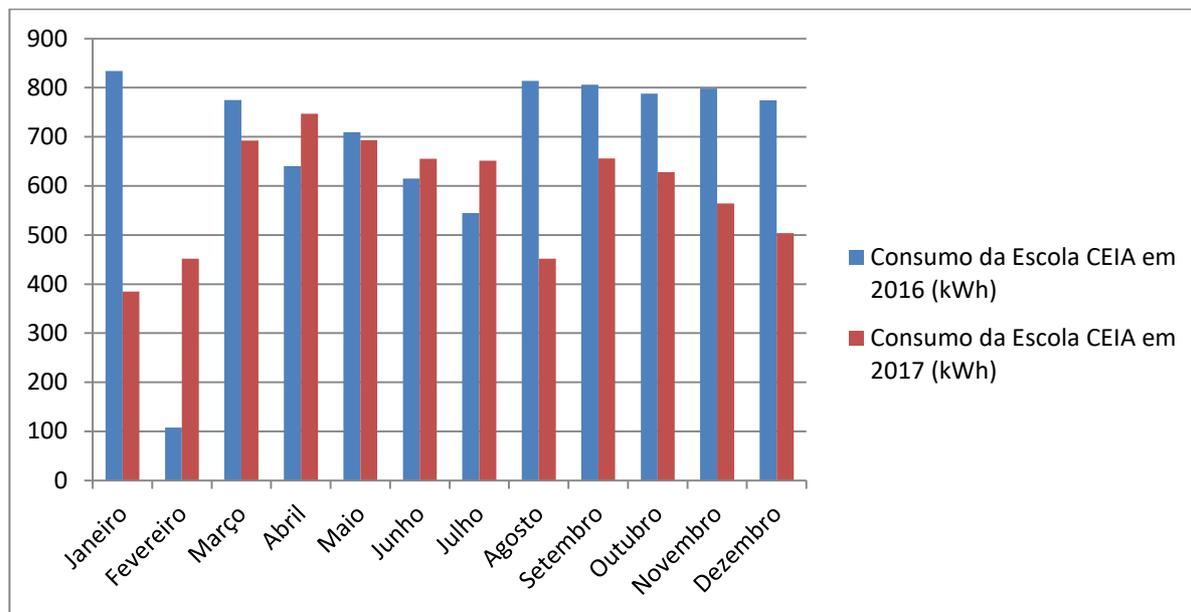


Figura 3.13: Consumo energético em kWh da Escola CEIA, a unidade comercial de pequeno porte em Manaus, durante os anos de 2016 e 2017.

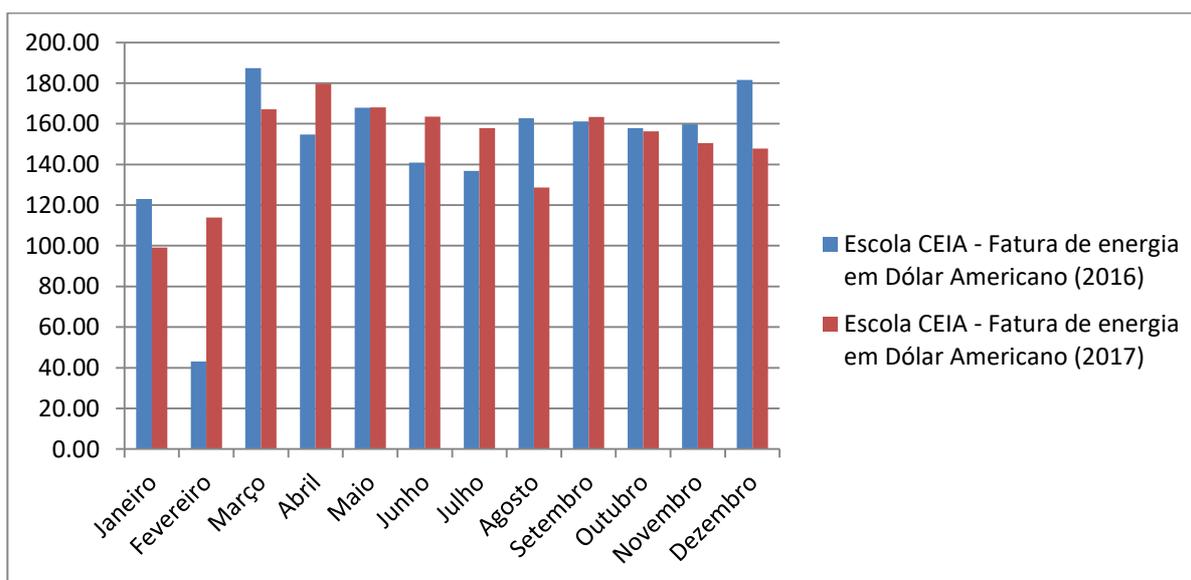


Figura 3.14: Faturamento mensal do consumo energético da Escola CEIA, durante os anos de 2016 e 2017. Cotação do dólar americano (1real=0,3136 dólar) realizado em 24/01/2018.

A escola opera das 07h da manhã às 05h30 da tarde, de segunda a sexta-feira, estando fechada durante os finais de semana. Como tal, o período de consumo coincide com o período de irradiância solar elevado, tornando este caso particularmente específico para a implementação de um possível sistema fotovoltaico, o qual produziria a energia elétrica durante o respectivo período de consumo.

3.3.6 Unidade comercial de médio porte - Faculdade IDAAM

A assim denominada unidade comercial de médio porte é o espaço físico pertencente à Faculdade IDAAM, conforme mostra a Figura 3.15. A instituição de ensino é certificadora dos cursos da Pós-graduação IDAAM, credenciada como Instituição de Ensino Superior (IES) junto ao Ministério da Educação no Brasil (MEC), através da Portaria 590, publicada no *Diário Oficial da União (DOU)* em 4 de maio de 2017.

A unidade Pós-Graduação IDAAM possui seu campus próprio, localizado no 16 andar do edifício Atlantic Tower, zona central da cidade de Manaus, conforme apresentado na Figura 3.16.

A referida instituição de ensino possui uma área total de 800m², contando com 7 espaçosas salas de aula no modelo *flipped class*, área administrativa, serviços de atendimento aos alunos, laboratório de informática, biblioteca, *lounge* e lanchonete. A referida unidade de Educação Superior conta com uma equipe de 25 colaboradores e 35 professores, ministrando cursos de pós-graduação com reconhecimento nacional e internacional, por meio de acordos de cooperação educacional com as faculdades Maurício de Nassau no Brasil, Universidade de Alcalá de Henares na Espanha e Universidade do Minho em Portugal.

Atualmente, com os crescentes custos da eletricidade praticados no Brasil, vários empreendimentos comerciais buscam alternativas para economizar eletricidade sem comprometer os seus serviços essenciais, entretanto, a conta de energia elétrica continua entre os custos mais elevados no orçamento das empresas.

A Figura 3.17 apresenta os valores do consumo mensal de eletricidade (em kWh) da Faculdade IDAAM, referente aos anos de 2016 e 2017. Durante esse período, o menor consumo refere-se ao mês de fevereiro de 2016 (8486kWh), que esteve relacionado ao período de férias e o maior consumo foi durante o mês de agosto de 2017 (22479 kWh), que esteve relacionado às altas temperaturas e à alta demanda por resfriamento em todas as instalações da unidade, os meses de agosto e setembro referem-se aos meses mais quentes do período de verão, onde são verificadas as mais altas temperaturas da região amazônica. Durante os anos de 2016 e 2017, o consumo médio mensal foi de 16145kWh.

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro



Figura 3.15: Mapa de localização da unidade comercial de médio porte, Faculdade IDAAM.

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

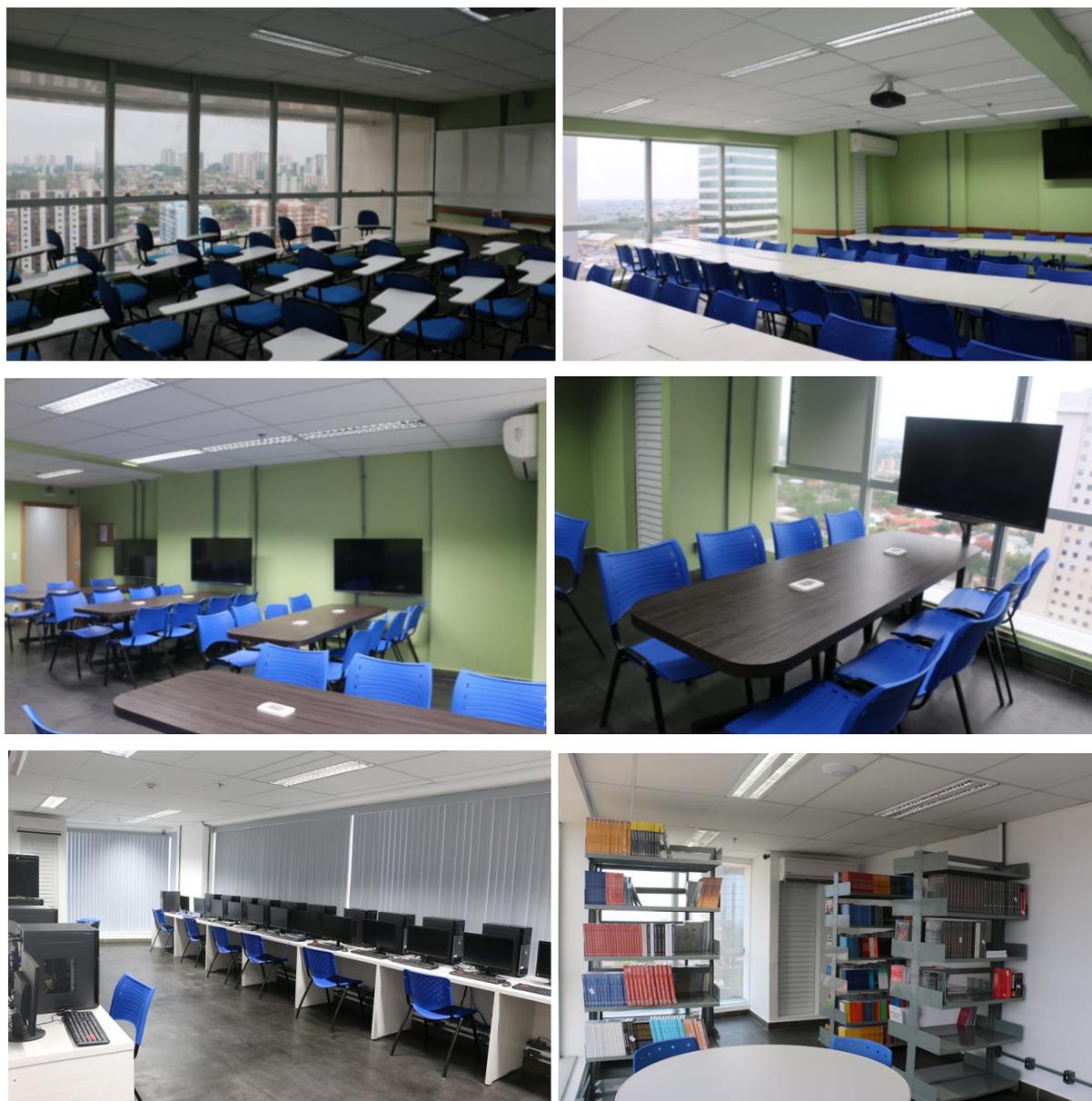


Figura 3.16: Fotos 13-18. Vista das instalações da área interna da Faculdade IDAAM. Fonte: Site IDAAM.

A Figura 3.18 apresenta os valores em dólar americano referentes ao faturamento mensal do consumo energético da Faculdade IDAAM, durante os anos de 2016 e 2017. Foi realizada a cotação da moeda americana em 24.01.2018, onde 1 real custava 0,3136 dólares, ou seja, 1 dólar era equivalente a R\$ 3,18 reais.

Durante esse período, o menor valor de faturamento do consumo refere-se ao mês de janeiro de 2016, onde o valor de faturamento foi de US\$ 1.364,54, relacionando-se ao período de férias e aos valores antigos dos custos de energia praticados no Brasil. O valor de maior faturamento foi durante o mês de agosto de 2017, US\$ 5.005,08, que esteve relacionado às altas temperaturas e à alta demanda por resfriamento, contemplando também os novos valores

de reajuste praticados na cobrança da energia elétrica. Durante os anos de 2016 e 2017, o custo médio mensal em dólar americano foi de US\$ 3.618,99.

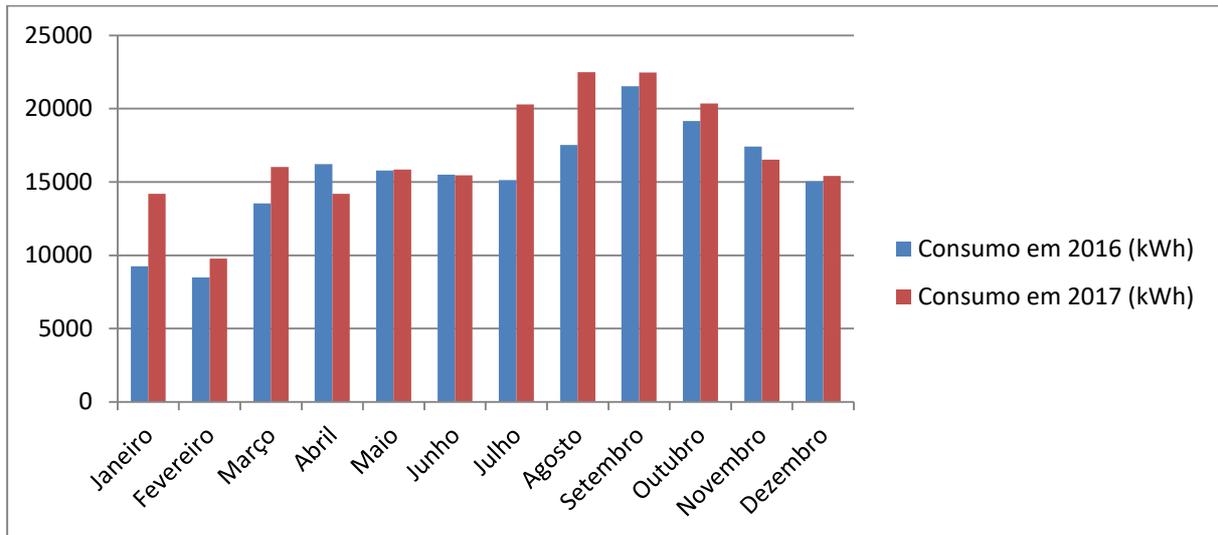


Figura 3.17: Consumo energético em kWh da Faculdade IDAAM, a unidade comercial de médio porte em Manaus, durante os anos de 2016 e 2017.

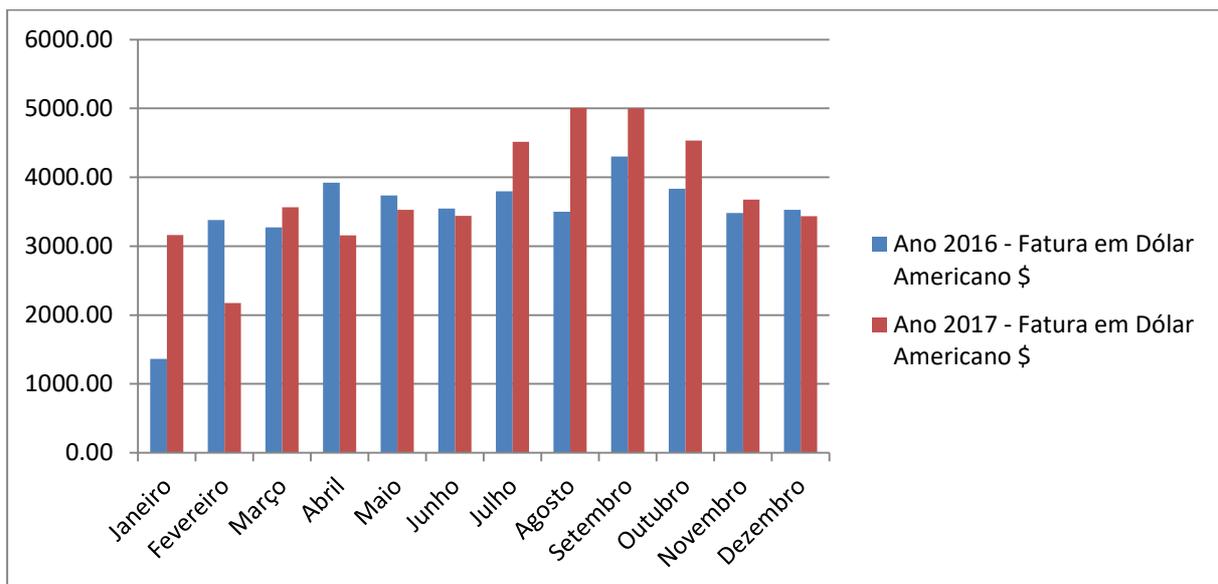


Figura 3.18: Faturamento mensal do consumo energético da Faculdade IDAAM, durante os anos de 2016 e 2017. Cotação do dólar americano (1 real=0,3136 dólar) realizado em 24/01/2018.

O horário de funcionamento das instalações da faculdade é das 07h da manhã às 10h30 da noite, de segunda a sexta-feira. Como tal, o período de consumo coincide com o período total de irradiância solar elevado e também, com parte do período noturno, tornando este caso particularmente adequado à implementação de um possível sistema fotovoltaico integrado a rede de distribuição de energia.

Um sistema fotovoltaico que atenda satisfatoriamente a todas as demandas energéticas desta unidade comercial, suprimindo todas as necessidades energéticas da instituição, é uma opção vantajosa a ser considerada, visto que os custos evitados com o pagamento das faturas de energia compensam o investimento a ser realizado em um sistema fotovoltaico.

3.4 Dimensionamento dos Sistemas Solares fotovoltaicos dos Estudos de Caso

Para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos foram consideradas diferentes possibilidades de produção, de modo a analisar cenários crescentes de autoprodução e que supram 100% às respectivas demandas energéticas. Para tal, foram tidos em conta os dados históricos de consumo de energia, o potencial local de produção fotovoltaica e as características técnicas dos painéis.

1º Passo – Dados da Conta de Energia

De acordo com os dados adquiridos nas faturas de energia da Unidade Residencial, da Escola CEIA e da Faculdade IDAAM, pode-se verificar o padrão de consumo durante o período referente aos anos de 2016 e 2017, constatando que a média do consumo de energia mensal dos referidos estudos de caso foram; 471kWh, 637kWh, 16145kWh, respectivamente.

A ligação dos respectivos sistemas é do tipo residencial normal, ligação trifásica, cujo tipo de ligação possui um custo de disponibilidade de 100kWh por contador de energia, ou seja, todos estes consumidores possuem a obrigação de efetuar o pagamento mensal referente ao custo de disponibilidade da rede, no valor de 100kWh por contador de energia.

Para o dimensionamento desses sistemas, considerou-se que o consumo de energia foi a média dos consumos mensais, menos o custo fixo de disponibilidade de energia elétrica para sistemas trifásicos 100kWh por contador, o que correspondeu ao consumo médio efetivo mês no valor de 371kWh, 537kWh e 14845kWh, para as respectivas unidades consumidoras; unidade residencial, escola CEIA e faculdade IDAAM.

2º Passo – Dados Solarimetricos

Para encontrar o tempo de exposição dos painéis solares a radiação solar e obter-se as horas de sol pico, os dados de radiação solar foram obtidos através da pesquisa realizada no site do CRESESB sun data, durante o mês de abril de 2018, conforme mostra a Figura 3.1.

3º Passo – Perdas de Energia do Sistema

As perdas de energia dos sistemas estão sempre associadas a diversos fatores como; perdas por aumento de temperatura nos painéis, incompatibilidade elétrica, acúmulo de sujeira, perdas relacionadas ao tamanho e disposição dos cabos CC e CA e ao tipo de inversor.

Considerando tais variáveis de perda, estipulamos com base na literatura, um rendimento global de 80% para todos os sistemas a serem instalados, possuindo assim um coeficiente de rendimento de 0,8.

4º Passo – Cálculo da Potência Instalada dos Painéis

Para o cálculo da potência instalada dos painéis fotovoltaicos, considerou-se então a energia de geração dos respectivos sistemas (Unidade residencial; 12,3kWh/dia, Escola CEIA; 17,9kWh/dia e Faculdades IDAAM; 494,8kWh/dia), as horas de sol pico de Manaus HSP de 4,42h/dia, e o coeficiente de rendimento de 0,8 para cada sistema analisado. No caso, o dimensionamento da potência total dos sistemas foi de 3,497kWp, 5,06kWp e 13,99kWp para conseguirem suprir os respectivos consumos diários da unidade residencial, da Escola CEIA e da faculdade IDAAM respectivamente, visto que a potência total dos sistemas representa a energia de geração do sistema dividido pelo valor das horas de sol pico x o coeficiente de rendimento.

5º Passo – Cálculo das Quantidades de Painéis e das áreas necessárias para instalação dos sistemas

De posse dos valores referentes à potência total de cada sistema (Unidade residencial; 3,497kWp, Escola CEIA; 5,06kWp e Faculdade IDAAM; 13,99 kWp), pôde-se calcular a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para a geração de energia elétrica dos respectivos sistemas, entretanto, salientamos que a quantidade de painéis varia em função dos tipos e modelos de painéis a serem escolhidos.

Neste caso, consideramos a possibilidade de utilizarmos painéis de 265W, sendo a quantidade de painéis resultado da potência total de um sistema dividido pela potência do painel (potência total kWp/265W) descrita resumidamente na Tabela 3.1.

6º Passo – Escolha dos Tipos de Inversores

Atualmente, existem diferentes modelos de inversores disponíveis no mercado com diferentes tipos de fabricantes, os mesmos variam em função das dimensões do sistema a ser instalado, os valores disponíveis no mercado variam de 1,1kW a 14kW.

Os inversores devem ser dimensionados de acordo com a potência total dos sistemas a serem instalados, com uma margem de 20% acima ou abaixo da potência das respectivas placas. Para a potência total dos sistemas analisados, considerou-se a possibilidade de instalação de inversores conforme apresenta a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Resumo das variáveis referentes ao dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos dos estudos de caso da unidade residencial, escola CEIA e Faculdade IDAAM.

	Unidade residencial	Escola CEIA	Faculdade IDAAM
Média do consumo de energia (2016/2017)	471kWh	637kWh	16145kWh
Custo de disponibilidade Mensal	100kWh	100kWh	1300kWh
Consumo efetivo por mês	371 kWh	537kWh	14845kWh
Horas de Sol Pico – HSP	4,42	4,42	4,42
Coeficiente de rendimento	0,8	0,8	0,8
Energia de geração do sistema por dia	12,3kWh/dia	17,9kWh/dia	494,83kWh/dia
Dimensionamento da potência total do sistema	3,49kWp	5,06kWp	13,99 kWp
Quantidade de Painéis de 265W (1.6x1.0m)	14	19	53
Área necessária para instalação dos sistemas em m ²	22,4m ²	30,4m ²	84,8m ²
Tipos de Inversores	3,6kW	5,0kW	14kW

3.5 Análise da Viabilidade Econômica dos Sistemas Solares fotovoltaicos dos Estudos de Caso

Para a análise dos casos foram consideradas possibilidades diferentes, cada uma correspondente a uma possível potência instalada. A produção esperada de eletricidade foi estimada em <https://www.renewables.ninja/> para o caso das regiões de Manaus (Pfenninger et al, 2016). Este modelo permite simular a produção horária de centrais solares fotovoltaicas localizadas em qualquer parte do mundo com informação nas coordenadas geográficas do local.

A informação sobre o investimento e os custos de O&M foi obtida a partir da análise de mercado internacional disponibilizada pelo *National Renewable Energy Laboratory-NREL* em <https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe-re-cost-est.html>, para a geração distribuída. Todas as informações foram obtidas em fevereiro de 2017.

O investimento necessário para a construção desta unidade fotovoltaica foi estimado em US\$ 3.897/kW, mais os custos de manutenção anual de US\$ 21,00/kW para a unidade

residencial e a Escola CEIA, para a faculdade IDAAM o investimento foi estimado em US\$ 3.643/kW mais os custos de manutenção anual de US\$ 18,00/kW, por se tratar de uma unidade com potência instalada acima de 10kW. As receitas foram calculadas a partir do consumo evitado da rede avaliado em US\$ 0,18/kWh de acordo com a tarifa média paga pelos respectivos consumidores. Por uma questão de simplicidade, a avaliação foi realizada a preços constantes e não foi assumido nenhum custo de escalada e taxa de preço.

Unidade Residencial

Para a análise do caso foram consideradas 3 possibilidades diferentes, cada uma correspondente a uma possível potência instalada entre 1 e 3kW.

A Tabela 3.2 descreve os principais resultados técnicos e econômicos da simulação, assumindo o esquema de *net metering*, incluindo a parcela média anual do autoconsumo, a produção anual da eletricidade não utilizada comparativamente ao valor total do consumo, a taxa interna de rentabilidade (TIR) do projeto, o valor atual líquido (VAL) com taxa de desconto de 5% e 10%, e o período de retorno simples esperado.

Tabela 3.2: Unidade Residencial: Resultados técnicos e econômicos.

	1kW	2kW	3kW
% Consumo próprio de energia	57,70%	97,3%	100,0%
% de energia não utilizada	0%	18,2%	73,1%
Taxa interna de rentabilidade (TIR)	9,14%	6,93%	2,25%
Valor atual líquido (VAL) a 10% (\$)	-227	-1564	-5453
Valor atual líquido (VAL) a 5% (\$)	1475	1326	-2560
Período de retorno do investimento	9 anos	10 anos	16 anos

De acordo com os resultados e sob o esquema de medição de rede, o período de retorno simples esperado é cerca de 9 a 16 anos, dependendo da potência instalada. No entanto, os pequenos projetos tendem a ser mais interessantes do ponto de vista econômico, uma vez que o excesso de produção de eletricidade não valorizado durante o ano é minimizado.

Para o caso de projetos de 1 e 2kW, os mesmos apresentam características interessantes, pois os valores de geração de energia elétrica estão muito próximos dos valores de consumo, os mesmos apresentam taxa interna de rentabilidade de 9,14% e 6,93% respectivamente, apresentam um valor atual líquido a 5% (VAL) positivo, indicando com isso que são viáveis do ponto de vista econômico.

O projeto de 3kW, supriria o consumo de energia de todos os meses do ano e ainda geraria créditos, podendo estes créditos ser utilizados pela própria residência ou por outra

residência de mesma titularidade, no entanto o mesmo apresenta uma taxa interna de rentabilidade de 2,25% e, um valor atual líquido a 5% (VAL) negativo, fato este que indica que o mesmo não é viável do ponto de vista econômico.

Entretanto, ressalta-se que os projetos são definidos como inviáveis ou viáveis economicamente pelo fato de apresentarem um valor atual líquido negativo ou positivo, um conceito importante é quando os projetos são energeticamente pouco interessantes pelo fato de não garantirem o abastecimento de 100% das necessidades energéticas, tornando-os pouco vantajosos para o consumidor, pois não garantem a independência total do mesmo. Uma solução que combina 100% de autossuficiência, e gera créditos para a unidade consumidora parece ser a melhor opção a ser considerada, resultando em um maior custo benefício do sistema.

Escola CEIA

Para a análise do caso foram consideradas 5 possibilidades diferentes, cada uma correspondente a uma possível potência instalada entre 1 e 5 kW.

A Tabela 3.3 descreve os principais resultados técnicos e econômicos da simulação, assumindo o esquema de *net metering*, incluindo a parcela média anual do autoconsumo, a produção anual da eletricidade não utilizada comparativamente ao valor total do consumo, a taxa interna de rentabilidade (TIR) do projeto, o valor atual líquido (VAL) com taxa de desconto de 5% e 10%, e o período de retorno simples esperado.

De acordo com os resultados e sob o esquema de medição de rede, o período de recuperação é cerca de 9 a 16 anos, dependendo da potência instalada. No entanto, os pequenos projetos tendem a ser mais interessantes do ponto de vista econômico, uma vez que o excesso da produção de eletricidade é transformado em créditos que podem ser utilizados para abaterem nas próximas faturas, tais créditos possuem uma validade de 60 meses e também podem ser utilizados em outra unidade comercial ou residencial de mesma titularidade.

Para o caso de projetos de 1 a 3kW, os mesmos são considerados viáveis por apresentarem um valor atual líquido positivo, ou seja, significa que os custos evitados compensam os investimentos realizados. Entretanto os mesmos não suprem 100% das demandas energéticas do estabelecimento comercial de ensino.

No caso do projeto de potência de 4kW, o mesmo também se apresenta como uma alternativa viável, pois o mesmo apresenta um valor atual líquido positivo, gerando créditos

em meses correspondentes aos períodos de baixo consumo de energia, notadamente, durante o período de férias escolar.

Tabela 3.3: Escola CEIA: Resultados técnicos e econômicos.

	1kW	2kW	3kW	4kW	5kW
% Consumo próprio de energia	34,80%	67,4%	90,2%	100,0%	100,0%
% de energia não utilizada	0%	0%	0%	9,9%	37,4%
Taxa interna de rentabilidade (TIR)	9,14%	9,14%	8,94%	5,29%	2,60%
Valor atual líquido (VAL) a 10% (\$)	-227	-454	-838	-4672	-8748
Valor atual líquido (VAL) a 5% (\$)	1475	2950	4196	391	-3768
Período de retorno do investimento	9 anos	9 anos	10 anos	12 anos	16 anos

Para o projeto de 5kW, o mesmo apresenta-se como uma alternativa inviável, pois o mesmo apresenta um valor atual líquido negativo, no entanto, o mesmo supre todas as demandas energéticas da escola, gerando créditos durante a maioria dos meses do ano, com exceção de possíveis meses que apresentassem consumo acima dos valores máximos, que poderiam ocorrer durante o período de verão.

Semelhantemente aos projetos fotovoltaicos de uso residencial, a viabilidade dos projetos de aproveitamento da energia solar para unidades comerciais de pequeno porte, depende do conceito dos mesmos assegurarem o abastecimento de 100% das suas necessidades energéticas, tornando-se vantajosos para o consumidor, pois garantem a independência total do mesmo. Uma solução que combina 100% de autossuficiência, e gera créditos para pequenas unidades comerciais, parece ser a melhor opção a ser considerada.

IDAAM

Para a análise do caso foram consideradas 5 possibilidades diferentes, cada uma correspondente a uma possível potência instalada entre 60 e 100kW.

O investimento necessário para a construção desta unidade fotovoltaica foi estimado em US\$ 3.643/kW mais os custos de manutenção anual de US\$ 18,00/kW, beneficiando de uma redução comparativamente a unidades de menor dimensão.

A Tabela 3.4 descreve os principais resultados técnicos e econômicos da simulação, assumindo o esquema de *net metering*, incluindo a parcela média anual do autoconsumo, a produção anual da eletricidade não utilizada comparativamente ao valor total do consumo, a taxa interna de rentabilidade (TIR) do projeto, o valor atual líquido (VAL) com taxa de desconto de 5% e 10%, e o período de retorno simples esperado.

De acordo com os resultados e sob o esquema de medição de rede, o período de recuperação é em torno de 9 a 11 anos, dependendo da potência instalada. No entanto, os projetos fotovoltaicos tendem a ser economicamente interessantes no Brasil, uma vez que o excesso de produção de eletricidade ocasiona a geração de créditos no sistema elétrico, que podem ser debitados nas próximas faturas durante um período de 60 meses de vigência, ou podem também, serem debitados de outras faturas de outras unidades comerciais ou residenciais de mesma titularidade.

Tabela 3.4. Faculdade IDAAM: Resultados técnicos e econômicos.

	60kW	70kW	80kW	90kW	100kW
% Consumo próprio de energia	80,7%	94,1%	95,2%	98%	100%
% de energia não utilizada	0%	6%	12%	22,6%	34,5%
Taxa interna de rentabilidade (TIR)	10,21%	10,21%	9,54%	7,84%	6,40%
Valor atual líquido (VAL) a 10% (\$)	3148	3673	-8907	-46870	-84832
Valor atual líquido (VAL) a 5% (\$)	105987	123652	122132	83459	44786
Período de retorno do investimento	9 anos	9 anos	9 anos	10 anos	11 anos

Para o caso de projetos de 60 e 70kW, os mesmos são considerados viáveis por apresentarem um valor atual líquido a 5% e 10 % positivo, ou seja, significa que os custos evitados compensam os investimentos realizados. Entretanto os mesmos não suprem 100% as demandas energéticas referentes às instalações físicas da faculdade IDAAM.

Os projetos de 80 e 90kW, apesar de apresentarem um valor atual líquido a 5% positivo, são considerados inviáveis por apresentarem um valor atual líquido a 10% negativo, e também, pelo fato dos valores de produção de energia elétrica serem inferiores as demandas de consumo da unidade comercial.

No caso do projeto de 100kW, o mesmo pode ser considerado inviável por apresentar um valor atual líquido a 10% negativo, entretanto, o mesmo apresenta um valor atual líquido a 5% positivo e os seus respectivos valores de produção de energia elétrica suprem em 100% os valores de consumo da unidade comercial, fatores estes que definem uma viabilidade para as demandas energéticas da Faculdade IDAAM.

Ressalta-se a importância dos projetos fotovoltaicos serem interessantes para o consumidor no quesito dos mesmos suprirem 100% das demandas energéticas referentes as suas instalações físicas, com a possibilidade de gerarem créditos elétricos durante a maioria dos meses do ano, apresentando estabilidade para o sistema a curto, médio e longo prazo.

Podem ser considerados estáveis e com 100% de autossuficiência, a concepção de sistemas fotovoltaicos com geração de créditos de eletricidade, sendo a melhor opção a ser

considerada, visto que este fato garantiria a sustentabilidade do sistema em todos os meses do ano, considerando os períodos chuvosos e nublados do inverno amazônico com os períodos de grande irradiância solar do verão. A companhia de abastecimento de energia funcionaria como uma espécie de “bateria”, fornecendo energia elétrica para Instituição durante o período da noite ou em dias nublados, recebendo de igual forma o excedente da produção de energia em dias ensolarados.

Os sistemas que não suprem em 100% as demandas de uma unidade comercial de pequeno ou médio porte, apesar de serem financeiramente mais atrativos não permitem garantir a estabilidade e independência do sistema nos casos de altas demandas energéticas por resfriamento em períodos mais quentes do ano, como também baixa produção de energia pelo sistema fotovoltaico em meses chuvosos e nublados, fato estes que devem ser considerados em regiões com características climáticas típicas da Amazônia.

4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo final, apresentam-se as conclusões a respeito da avaliação dos projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus, notadamente dos estudos de caso abordados e da viabilidade técnico-econômica dos mecanismos de produção de eletricidade residencial e comercial no Estado do Amazonas.

A presente dissertação teve como principal objetivo expor de forma resumida, o atual panorama brasileiro a respeito dos mecanismos de aproveitamento e uso da energia solar fotovoltaica, o enquadramento legal e as novas legislações que entraram em vigor no Brasil a partir do ano de 2012. As condições gerais para o acesso da microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, os sistemas de compensação de energia e as implicações do novo quadro regulatório, no potencial de aproveitamento da energia solar no Estado do Amazonas, foram temas abordados e contextualizados.

De igual modo, tornou-se relevante a análise da revisão bibliográfica do mercado da indústria fotovoltaica no mundo, de modo que pudéssemos perceber a progressão do uso da energia solar fotovoltaica em diferentes países e, dos respectivos avanços da aplicação dessa tecnologia em diferentes contextos físicos, sociais e econômicos. Os estudos de caso de modelos de aproveitamento da energia solar fotovoltaica na área urbana de Manaus, diante do atual quadro regulatório brasileiro, demonstram para a sociedade a viabilidade econômica, social e ambiental dos sistemas de geração de energia elétrica distribuída, conectados aos sistemas de distribuição de energia, bem como das atuais limitações da viabilização desses projetos no Brasil.

De acordo com diferentes autores revisados, a geração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos é perfeitamente possível em comunidades isoladas da região amazônica, trazendo consideráveis benefícios econômicos, sociais e ambientais. No entanto, a implementação de sistemas fotovoltaicos em comunidades urbanas e grandes cidades, como Manaus, permanecem altamente desprovidos de conhecimento na literatura atual. Embora o aumento da micro e mini geração de energia seja impressionante no Brasil, a capacidade total instalada ainda permanece muito abaixo de outros países com condições de irradiância menos favoráveis.

Alguns aspectos podem justificar esses números ainda marginais, a saber, as mudanças ainda recentes na legislação brasileira para a autoprodução e, o modelo de *net metering* proposto, o esquema de incentivo menos favorável comparativamente a outras opções, como as tarifas de alimentação, o desconhecimento da população, os altos custos de investimento e as dificuldades de acesso a possíveis financiamentos. Este último aspecto, é

particularmente importante e pode até ser mais relevante que as condições de irradiância de cada região, pois é evidente que os estados brasileiros de maior renda são os que apresentam maior interesse para esses projetos.

O setor energético possui um papel fundamental se o mesmo for considerado como um mecanismo propulsor de geração de emprego e renda, a implantação de indústrias de energia fotovoltaica na região norte do Brasil, bem como o incentivo a diminuição da dependência das famílias em relação ao setor elétrico e, a transformação da figura de clientes consumidores para clientes geradores de energia, são fatores fundamentais no processo de inclusão social do país.

A geração de energia fotovoltaica distribuída gera inúmeros benefícios ambientais, por serem móveis, adaptáveis a diferentes locais, não produzem resíduos nem poluição sonora, são bens duráveis, não são fontes geradoras de energia com emissões de carbono, podendo inclusive ser utilizadas como mecanismo de recuperação de áreas degradadas, transformando áreas depredadas e desflorestadas na região em áreas produtoras de energia elétrica, por meio da criação de plantas de geração de energia fotovoltaica.

Cenários de secas persistentes e outros eventos climáticos extremos irão ocorrer com maior frequência no Globo, afetando indiscriminadamente diferentes regiões do país, criando extensas áreas desérticas, com a diminuição drástica dos mananciais hídricos em termos quantitativos e qualitativos. O quadro atual das mudanças climáticas nos força a rever nossos conceitos sobre os mecanismos de geração e distribuição de energia, as grandes centrais hidrelétricas já sofrem com as atuais mudanças do clima que afeta diretamente os níveis de seus reservatórios, comprometendo, conseqüentemente, a produção de energia elétrica no país.

As atuais empresas de geração e distribuição de energia podem se beneficiar economicamente de novos modelos de geração distribuída, sendo capazes de gerir e comercializar a produção excedente de energia elétrica, assim produzida em domicílios residenciais, unidades comerciais de pequeno, médio e grande porte. Gerando uma diminuição da dependência dos atuais grandes projetos de geração de energia hidrelétrica.

O desafio em se estabelecerem modelos de matrizes energéticas integradas, combinando diferentes fontes energéticas é algo urgente em todas as esferas de gestão do sistema brasileiro, da geração à distribuição de energia. É evidente o crescimento exponencial da energia fotovoltaica no mundo, a redução dos custos já é uma realidade em vários mercados consumidores de vários países, é fato notório e certo de que a energia solar será um modelo dominante a longo prazo.

O potencial de uso da energia solar fotovoltaica no Estado do Amazonas é uma estratégia econômica para o desenvolvimento sustentável do setor energético brasileiro, entretanto, mais do que um conceito, a responsabilidade socioambiental do Estado deve ser uma postura de adotar, coletivamente, práticas em benefício da sociedade e do meio ambiente, melhorando a qualidade de vida das pessoas. É só a partir de práticas de responsabilidade socioambiental que conseguiremos um desenvolvimento sustentável, com menos danos ao meio ambiente e mais igualdade social.

Falar em aspectos de sustentabilidade social e ambiental do setor energético brasileiro é falar sobre a diminuição das desigualdades sociais e erradicação da pobreza. O Brasil é um país que possui uma diversidade enorme de recursos naturais, renováveis e não renováveis, mas também é um país que possui um grande passivo social a ser considerado, historicamente, foi o país do globo que mais escravizou seres humanos em escala de tempo e em maior quantidade, isso se reflete hoje na forma de organização da sociedade, com inúmeras famílias vivendo em condições ainda miseráveis, sem água potável, esgoto e sem acesso aos serviços elétricos de qualidade.

Partindo da análise realizada, foi ainda possível apresentar algumas implicações políticas, destacando-se também, sugestões de trabalhos futuros, com evidência para a necessidade de construção de um modelo de planejamento para a microgeração e minigeração de energia elétrica em crescente desenvolvimento no País, fazendo-se necessário a concepção de um modelo baseado em otimização dos processos e não somente em simulação de sistemas.

A análise das externalidades sociais, econômicas e ambientais da micro e minigeração de energia elétrica no Brasil, são fatores determinantes para o sucesso na concepção do desenvolvimento de um novo modelo de geração e distribuição de energia, baseado em conceitos de sustentabilidade e em novas fontes de energia renovável, como a energia solar fotovoltaica.

Como perspectivas de trabalhos futuros, salienta-se a importância do desenvolvimento de estudos de sistemas de geração e distribuição de energia inteligentes, capazes de se autogerirem a partir de matrizes energéticas integradas, baseadas em fontes renováveis de energia, garantindo a estabilidade definitiva do sistema. O conceito de *smart cities*, deverá ser completamente assimilado pelos planos diretores municipais dos municípios que compõem a região metropolitana de Manaus, com a utilização de diversas tecnologias que melhorem a infraestrutura urbana, tornando os aglomerados urbanos da região amazônica capazes de garantir a qualidade de vida das presentes e futuras gerações.

4.1 Implicações do Estudo

Diante da revisão da literatura realizada nesta dissertação e da análise dos estudos de caso abordados, permitiu-se concluir a respeito de algumas implicações deste estudo a serem consideradas na forma que segue:

❖ Características climáticas devem ser consideradas como sendo uma das variáveis mais importantes no dimensionamento de unidades fotovoltaicas na região. O clima na floresta Amazônica é equatorial, sendo favorável a implantação de sistemas fotovoltaicos. Devido à proximidade de sua localização em relação à Linha do Equador, o clima quente e úmido apresenta temperaturas que variam pouco durante os meses do ano, mas com períodos distintos de estações; o período chuvoso com duração de 6 meses e o período seco com mesma duração. O período seco é favorável a níveis mais elevados de geração de energia solar, comparados com os períodos chuvosos e nublados que por sua vez ocasionariam níveis mais baixos de geração de energia.

❖ Assim como as características climáticas da região, o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos deve levar em consideração uma margem positiva de geração de energia para as unidades consumidoras, de modo que possam sempre suprir as respectivas demandas energéticas satisfatoriamente, gerando créditos em períodos de produção elevada, garantindo a sustentabilidade do sistema durante os períodos de maior calor e de maiores demandas por resfriamento de ambientes.

❖ De acordo com os resultados obtidos e sob o esquema de medição de rede, o período de recuperação do investimento em sistemas fotovoltaicos é atualmente cerca de 9 a 16 anos, dependendo da potência instalada. No entanto, os pequenos projetos tendem a ser mais interessantes do ponto de vista econômico, uma vez que o excesso de produção de eletricidade gera créditos no sistema brasileiro de medição de rede, podendo ser utilizados para abater nas próximas faturas da unidade consumidora, ou em outras unidades de mesma titularidade, durante um período de vigência de 60 meses.

❖ Para o caso de projetos fotovoltaicos que possuam valores de geração de energia elétrica muito próximos dos valores de consumo das unidades residenciais ou comerciais, os mesmos podem ser considerados inviáveis, pois não suprimindo 100% as necessidades mensais de consumo de energia elétrica, ainda gerariam custos adicionais para os respectivos consumidores, como pagamentos referentes à compra de equipamentos e manutenção do sistema, além das faturas mensais de energia disponibilizada pela rede.

❖ Os projetos de geração de energia fotovoltaica que supram as necessidades de suas respectivas unidades consumidoras, durante todos os meses do ano e ainda produzam

créditos, podendo estes créditos serem geridos e utilizados no futuro, são viáveis a médio e longo prazo, resultando em um maior custo benefício do sistema. Desse modo, devido à instabilidade do sistema brasileiro de distribuição de energia e dos recorrentes apagões ocorridos nos últimos anos, sugere-se, por medida de segurança futura, que o dimensionamento dos projetos fotovoltaicos na região amazônica sempre considerem uma margem de segurança 20% superior os valores mais altos das demandas das unidades consumidoras, garantindo a estabilidade do sistema a curto, médio e longo prazo.

❖ O estudo de caso da unidade residencial do condomínio Allegro, cujo consumo de eletricidade está altamente concentrado em horas noturnas, demonstrou que a implementação do sistema fotovoltaico é uma opção vantajosa para o futuro das famílias brasileiras. O sistema de distribuição de energia funcionaria como uma “bateria”, onde a produção de eletricidade do dia seria disponibilizada a rede, gerando créditos para serem abatidos nas próximas faturas. É um típico caso de sistema integrado à rede, os assim denominados “*in grid*”, que no caso em questão, funcionaria em “equilíbrio” com a atual companhia de abastecimento elétrico da região. No futuro, as famílias iriam arcar somente com o custo de disponibilidade da rede, com valores definidos pela companhia para os sistemas, monofásicos, bifásicos ou trifásicos.

❖ O estudo de caso da unidade comercial de pequeno porte, a escola de educação infantil CEIA, cujo consumo de eletricidade está altamente concentrado em horas diurnas, demonstrou que a implementação do sistema fotovoltaico é uma opção particularmente interessante, pois a produção de eletricidade seria consumida durante o mesmo período de geração. Assim como em unidades residenciais, os créditos gerados pela produção excedente de energia poderão ser utilizados para abaterem as próximas faturas e, também, podem ser utilizados em outra unidade comercial ou residencial de mesma titularidade.

❖ Os dados da unidade comercial de pequeno porte evidenciam claramente que, a promoção de edifícios de energia zero, com medidas de eficiência energética, combinados a sistemas renováveis de geração de energia, pode ser uma estratégia valiosa para toda a região amazônica, notadamente para a região metropolitana de Manaus, desde que ocorram iniciativas governamentais de fomento e mecanismos de subsídios e acesso a financiamentos para os cidadãos e pequenos empreendedores.

❖ O estudo de caso da unidade comercial de médio porte, a Faculdade IDAAM, cujo consumo de eletricidade está concentrado em horas diurnas e noturnas, demonstrou que a implementação de um sistema fotovoltaico que atenda as demandas energéticas de todas as suas instalações físicas é uma opção que possui uma viabilidade a ser considerada. Projetos

acima de 100kW, conectados a rede de distribuição, que supram as necessidades de suas unidades e gerem créditos elétricos, apresentam estabilidade para o sistema a curto, médio e longo prazo. Podem ser considerados estáveis e com 100% de autossuficiência, sendo a geração de créditos de eletricidade sempre a melhor opção a ser considerada. A companhia de abastecimento de energia funcionaria como uma espécie de “bateria”, fornecendo energia elétrica para a Instituição durante o período da noite ou em dias nublados, recebendo de igual modo o excedente da produção de energia dos sistemas fotovoltaicos em dias ensolarados.

4.2 Formulação de Políticas Públicas

As mudanças recentes no paradigma governamental, que passaram a vigorar no ano de 2012, em relação à autoprodução de energia elétrica distribuída, o modelo *net metering* proposto, o desconhecimento da população, os altos custos de investimentos em tecnologia fotovoltaica praticados no país, as dificuldades de acesso aos financiamentos, todos estes fatores podem justificar os atuais números ainda marginais da microgeração e minigeração de energia elétrica no Brasil.

A ausência de linhas de créditos e financiamentos em larga escala são um dos principais fatores que impossibilitam a implantação de sistemas fotovoltaicos em unidades residenciais e comerciais. Os atuais preços praticados no Brasil são muito elevados e incompatíveis com a realidade sócio-econômica da população. Apesar das condições altamente favoráveis de irradiância solar, é evidente que somente uma pequena classe elevada da sociedade teria acesso e, um possível interesse em implementar projetos de geração distribuída de energia.

Diante desses fatos e da atual conjuntura política e econômica do Brasil, seguem algumas contribuições com intuito de se estabelecerem melhorias em um cenário futuro:

- ❖ Diminuição a nível zero do imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual, intermunicipal e de comunicação (ICMS), para produtos e materiais voltados a tecnologia solar fotovoltaica. Sendo de competência dos Estados e do Distrito Federal a cobrança do referido imposto, a extinção do mesmo ocasionaria uma grande expansão do mercado fotovoltaico no Brasil, diminuindo drasticamente os preços dos equipamentos, tornando-os populares e acessíveis a grande parte da população.

- ❖ A diminuição dos impostos e a criação de isenções fiscais para as empresas de tecnologia fotovoltaica, seria um mecanismo de atração das mesmas para serem implantadas no polo industrial de Manaus e nos demais polos industriais do país, ocasionando benefícios

para a economia brasileira, com a geração de grande número de postos de trabalho. Este seria um mecanismo de fortalecimento e integração da região Metropolitana de Manaus, o qual serviria de exemplo para as demais regiões metropolitanas do país.

❖ A promoção da inovação do setor é também essencial para o seu crescimento. A iniciativa inédita do governo brasileiro em conceber plantas de geração de energia solar fotovoltaica, em painéis solares flutuantes em lagos de hidrelétricas, conectando plantas fotovoltaicas aos atuais sistemas de geração de energia já é uma realidade na Hidrelétrica de Balbina, que se localiza no município de Presidente Figueiredo, Estado do Amazonas, este é um exemplo de inovação. O primeiro projeto-piloto de geração de energia solar fotovoltaica em painéis flutuantes foi uma iniciativa do Ministério de Minas e Energia do Brasil durante o ano de 2016, que, ao integrar diferentes modelos de geração de energia, criou um projeto de plantas híbridas que podem ser aplicados em outros lagos de represas no Brasil e no mundo.

❖ Além dos modelos de geração de energia solar distribuídos, devemos considerar a possibilidade de grandes usinas fotovoltaicas serem concebidas e incorporadas ao atual sistema de geração de energia hidrelétrica em uso no Brasil. Tal iniciativa pode ter um enorme impacto positivo no atual sistema de geração de energia, visto que as usinas fotovoltaicas iriam se beneficiar de todo um sistema de distribuição já existente por parte das usinas hidrelétricas, somando esforços e iniciativas do poder público e da iniciativa privada, os modelos de usinas híbridas pode ser uma solução economicamente viável e adaptável às especificidades do Brasil.

❖ No Estado do Amazonas, o Programa Social e Ambiental dos Igarapés da cidade, que tem como objetivo contribuir com a melhoria da qualidade de vida dos habitantes das bacias hidrográficas urbanas, podem se beneficiar com o uso da energia solar fotovoltaica em seus projetos de habitação, ocasionando aprimoramentos nas obras de infraestrutura, saneamento e habitação que ocorrem com muito sucesso na região. Tal programa poderá incorporar os conceitos de eficiência energética na construção de edifícios 100% renováveis, adaptados as especificidades da região.

❖ Outros projetos desenvolvidos pelo governo brasileiro, a exemplo dos programas “luz para todos” e “minha casa minha vida”, podem se beneficiar com a geração de energia solar fotovoltaica distribuída. Os cidadãos abrangidos por estes programas poderão passar da figura de clientes consumidores para clientes fornecedores de energia, contribuindo assim, com as empresas de geração e distribuição de energia elétrica, de modo que estes clientes geradores possam ser uma parcela relevante na diminuição das demandas de geração de energia, das companhias que operam no Brasil.

❖ O conceito alemão de “*Passivhaus*”, que em português significa casa passiva, deverá ser completamente assimilado, como processo de design integrado aos futuros projetos arquitetônicos a serem implementados no Brasil, notadamente na região amazônica. A metodologia refere-se a uma rigorosa norma voluntária para a eficiência energética na construção de edifícios, resultando em construções inteligentes, adaptáveis e com consumo ultrabaixo de energia, necessitando de pouco consumo de energia para aquecimento ou resfriamento de ambientes, podendo este padrão ser adaptado às especificidades de diversos tipos de edifícios residenciais e comerciais.

❖ Atualmente, um conceito inovador de criação de praças e ambientes públicos, incorporados a sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, tem se tornado uma realidade em diferentes locais, como é o caso da cidade de Birmingham, localizada na Inglaterra. Novas metodologias e concepções de projetos paisagísticos, que incorporem o uso da energia solar, o contato com a natureza e o processo de socialização das pessoas, deve ser uma variável importante no processo de criação e reabilitação de espaços públicos, o crescimento e a expansão dos aglomerados urbanos pertencentes à região metropolitana de Manaus demandarão por uma crescente incorporação de idéias inovadoras, adaptáveis as especificidades locais.

❖ Atualmente, a indústria automobilística tem se desenvolvido de modo a adaptar-se ao futuro da escassez de combustíveis fósseis, a mobilidade elétrica é o futuro próximo e eminente para redução das emissões de carbono e de outros poluentes, os veículos elétricos já são uma realidade na Europa, com intuito de reduzir as emissões de dióxido de carbono no transporte rodoviário de passageiros. A introdução de veículos elétricos na América Latina, levará, inevitavelmente, a uma maior interação entre mobilidade e setor elétrico, a partir do momento em que a penetração de carros elétricos atingirem níveis mais elevados no globo, a demanda de eletricidade por parte dos automóveis será um fator relevante no sistema energético brasileiro, com impactos na operação das centrais elétricas, nas infraestruturas de rede e na geração distribuída. Tudo isto traz a tona a necessidade de repensar o atual modelo de geração e distribuição de energia elétrica na região metropolitana de Manaus e nas demais cidades do Brasil.

❖ Nos dias de hoje, em muitos países, está ocorrendo uma forte tendência em se modificar os atuais grandes modelos de geração de energia, substituindo as grandes usinas convencionais por usinas fotovoltaicas, com notoriedade a China, a Índia e os Estados Unidos. Este fato nos faz repensar a respeito da quebra de paradigmas de antigos modelos de

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

geração de energia elétrica, para abertura de um novo conceito de modelos sustentáveis de produção de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdin, G.C. e Noussan, M. (2018). Electricity storage compared to net metering in residential PV applications, *Journal of Cleaner Production*, 176, 175 - 186. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.132>

Agencia Internacional de Energia – IEA (2010). Technology Roadmap - Solar photovoltaic energy. Website: www.iea.org

Agencia Internacional de Energia – IEA (2017). Energy Technology Perspectives 2017. ISBN: 978-92-64-27597-3. Website: www.iea.org/etp2017

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2015). Relatório ANEEL - 2015. Brasília, Brasil.

Ahsan, S., Javed, K., Rana, A. S. & Zeeshan, M. (2016). Design and cost analysis of 1 kW photovoltaic system based on actual performance in Indian scenario, *Perspectives in Science*, 8, 642-644. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pisc.2016.06.044>

Akter, M.N., Mahmud, M.A. & Amanullah M.T.O. (2017). Comprehensive economic evaluations of a residential building with solar photovoltaic and battery energy storage systems: An Australian case study, *Energy and Buildings*, 138, 332–346. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.065>

ANEEL Resolução Normativa N° 482, de 17 de Abril de 2012, Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

ANEEL Resolução Normativa N° 687, de 24 de Novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

Aquila, G., Pamplona, E. de O., Queiroz, A. R. de, Rotela Junior, P., & Fonseca, M. N. (2017). An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(October 2015), 1090–1098. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.013>

Boero, R., Backhaus, S.N. e Edwards, B.K. (2016). The microeconomics of residential photovoltaics: Tariffs, network operation and maintenance, and ancillary services in distribution-level electricity markets, *Solar Energy*, 140, 188-198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.11.010>

Camilo, H. F., Udaeta, M. E. M., Gimenes, A. L. V. & Grimoni, J. A. B. (2017). Assessment of photovoltaic distributed generation – Issues of grid connected systems through the consumer side applied to a case study of Brazil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 712-719. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.099>

Cavalcante, A. S. (2015). Atendimento e inclusão: impactos socioambientais da política pública de energia elétrica na construção da sustentabilidade em contexto amazônico. Dissertação de doutoramento, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil.

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras (2015). Relatório Anual e de Sustentabilidade das Empresas Eletrobras - 2015. São Paulo. Ministério de Minas e Energia.

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras (2016). Relatório Anual e de Sustentabilidade das Empresas Eletrobras - 2016. São Paulo. Ministério de Minas e Energia.

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras (2017). Relatório Anual e de Sustentabilidade das Empresas Eletrobras - 2017. São Paulo. Ministério de Minas e Energia.

Colombo, E., Rocco, M., V., Toro, C. & Sciubba, E. (2015). An energy-based approach to the joint economic and environmental impact assessment of possible photovoltaic scenarios: A case study at a regional level in Italy, *Ecological Modelling*, 318, 64–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.11.006>

Costa, N. R. da (2013). Análise da Utilização de Painéis Fotovoltaicos em Timor-Leste. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Portugal.

Dantas, G. de A., Castro, N.J. de, Brandão, R., Rosental, R., Lafranque, A. (2017). Prospects for the Brazilian electricity sector in the 2030s: Scenarios and guidelines for its transformation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 68, part 2, p. 997-1007.

Darghouth, N. R., Wisser, R. H., Barbose, G. e Mills, A. D. (2016). Net metering and market feedback loops: Exploring the impact of retail rate design on distributed PV deployment, *Applied Energy*, 162, 713-722. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.120>

De Melo, C. A., Jannuzzi, G. D. M., & Bajay, S. V. (2016). Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn from the German experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 222–234. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.054>

De Souza, L. E. V., & Cavalcante, A. M. G. (2016). Towards a sociology of energy and globalization: Interconnectedness, capital, and knowledge in the Brazilian solar photovoltaic industry. *Energy Research and Social Science*, 21(October 2015), 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.07.004>

Decreto N. 2.335 de 6 de outubro de 1997, Constitui a Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL, autarquia sob regime especial, aprova sua Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e Funções de Confiança e dá outras providências.

Els, R. H. V., Vianna, J. N. d. S., & Brasil Jr., A. C. P. (2012). The Brazilian experience of rural electrification in the Amazon with decentralized generation – The need to change the paradigm from electrification to development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1450-1461.

Erminio, M. I. M. (2017). Meio ambiente e a Zona Franca de Manaus: análise crítica sobre a proteção ambiental na Amazônia ocidental a luz da teoria dos “polos de crescimento”. Dissertação de mestrado, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil.

Faria, Jr. H. de, Trigoso, F.B.M. e Cavalcanti, J.A.M. (2016). Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.076>

Freitas, R. M. (2011). Análise da estrutura produtiva do Estado do Amazonas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil.

Garcez, C.G. (2017). Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design and impact, *Utilities Policy*, 49, 104-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2017.06.005>

Geffert, W. e Strunk, K. (2017). Beyond net metering: A model for pricing services provided by and to distributed generation owners, *The Electricity Journal*, 30, 36-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tej.2017.02.007>

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

Gomes, I.L.R., Pousinho, H.M.I., Melício R. & Mendes, V.M.F. (2017). Stochastic coordination of joint wind and photovoltaic systems with energy storage in day-ahead market, *Energy*, 124, 310-320. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.080>

Gómez, M.F. & Silveira, S. (2015). The last mile in the Brazilian Amazon-A potential pathway for universal electricity access, *Energy Policy*, 82, 23-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.018>

Gómez, M.F., Téllez, A. & Silveira, S. (2015). Exploring the effect of subsidies on small-scale renewable energy solutions in the Brazilian Amazon, *Renewable Energy*, 83, 1200-1214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.05.050>

Guo, X. & Guo, X. (2015). China's photovoltaic power development under policy incentives: A system dynamics analysis, *Energy*, 93, 589-598. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.049>

Hermias, J.P., De Luna, R.J.P., Lavilla, A.J.M., Jabian, M.E. e Estoperez, N.R. (2016). Switching action evaluation of a net metering miniature system, *Procedia - Social and Behavioural Sciences*, 216, 345 – 360. Doi: 10.1016/j.sbspro.2015.12.047

Hernández-Moro, J., Martínez-Duart, J.M. (2013). Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 119-132.

Hong, S., Chung, Y. & Woo, C. (2015). Scenario analysis for estimating the learning rate of photovoltaic power generation based on learning curve theory in South Korea, *Energy*, 79, 80-89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.050>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. <https://www.ibge.gov.br/>

Jäger-Waldau, A. (2017). PV Status Report 2017. Publications Office of the European Union. Luxembourg. Europe. EUR 28817 EN. ISBN 978-92-79-74071-8. doi:10.2760/452611.

Jannuzzi, G. de M., & de Melo, C. A. (2013). Grid-connected photovoltaic in Brazil: Policies and potential impacts for 2030. *Energy for Sustainable Development*, 17(1), 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.10.010>

Koumparou, I., Christoforidis, G.C., Efthymiou, V., Papagiannis, G.K. e Georghiou, G.E. (2017). Configuring residential PV net-metering policies e A focus on the Mediterranean region, *Renewable Energy*, 113, 795-812. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.051>

Lacchini, C., & Dos Santos, J. C. V. (2013). Photovoltaic energy generation in Brazil - Cost analysis using coal-fired power plants as comparison. *Renewable Energy*, 52, 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.033>

Lacchini, C., & Rüther, R. (2015). The influence of government strategies on the financial return of capital invested in PV systems located in different climatic zones in Brazil. *Renewable Energy*, 83, 786–798. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.05.045>

Lei N. 9.427 de 26 de Dezembro de 1996, Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Disciplina o Regime das Concessões de Serviços Públicos de Energia Elétrica e dá outras providências.

Liou, H. M. (2015). Comparing feed-in tariff incentives in Taiwan and Germany, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1021–1034. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.009>

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

Manju, S. & Sagar, N. (2017). Progressing towards the development of sustainable energy: A critical review on the current status, applications, developmental barriers and prospects of solar photovoltaic systems in India, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 298–313. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.226>

Marques Filho, E. P., Oliveira, A.P., Vita, W.A., Mesquita, F.L.L., Codato, G., Escobedo, J.F., Cassol, M., França, J.R.A. (2016). Global, diffuse and direct solar radiation at the surface in the city of Rio de Janeiro: Observational characterization and empirical modeling. *Renewable Energy*, v. 91, p. 64-74.

Martins, F. R., & Pereira, E. B. (2011). Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. *Energy Policy*, 39(7), 4378–4390. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.058>

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e comunicações - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <http://www.inpe.br/>

Ministério de Minas e Energia (2017). Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Rio de Janeiro, Brasil.

Nassar, N. T., Wilburn, D. R. & Goonan, T. G. (2016). By product metal requirements for U.S. wind and solar photovoltaic electricity generation up to the year 2040 under various Clean Power Plan scenarios, *Applied Energy*, 183, 1209–1226. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.062>

Nerini, F., Howells, M., Bazilian, M., & Gomez, M. F. (2014). Rural electrification options in the Brazilian Amazon: A multi-criteria analysis. *Energy for Sustainable Development*, 20, 36-48.

Nogueira, C.E.C., Vidotto, M.L., Niedzialkoski, R.K., Souza, S.N.M. de, Chaves, L.I., Edwiges, T., Santos, D.B. dos & Werncke, I. (2014). Sizing and simulation of a photovoltaic-wind energy system using batteries, applied for a small rural property located in the south of Brazil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 151-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.071>

Novosel, T., Cosic, B., Puksec, T., Krajasic, G., Duic, N., Mathiesen, B. V., Lund, H. & Mustafa, M. (2015). Integration of renewables and reverse osmosis desalination e Case study for the Jordanian energy system with a high share of wind and photovoltaic, *Energy*, 92, 270-278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.057>

Nyholm, E., Odenberger, M. e Johnsson, F. (2017). An economic assessment of distributed solar PV generation in Sweden from a consumer perspective - The impact of demand response, *Renewable Energy*, 108, 169-178. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.050>

Pacheco, M. & Lamberts, R. (2015). Assessment of technical and economic viability for large-scale conversion of single family residential buildings into zero energy buildings in Brazil: Climatic and cultural considerations, *Energy Policy*, 63, 716-725. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.133>

Pietzcker, R., Stetter, D. Manger, S. & Luderer, G. (2014). Using the sun to decarbonize the power sector: The economic potential of photovoltaic and concentrating solar power. *Applied Energy*, 135 (15), 704-720.

Pinto, J. T. M., Amaral, K. J. & Janissek, P. R. (2016). Deployment of photovoltaic in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing, *Solar Energy*, 133, 73-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.048>

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

Punda, L., Capuder, T., Pandžić, H., & Delimar, M. (2017). Integration of renewable energy sources in southeast Europe: A review of incentive mechanisms and feasibility of investments, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 77–88. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.008>

Ramírez, F. J., Honrubia-Escribano, A., Gómez-Lázaro, E. & Pham, D. T. (2017). Combining feed-in tariffs and net-metering schemes to balance development in adoption of photovoltaic energy: Comparative economic assessment and policy implications for European countries, *Energy Policy*, 102, 440–452. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.040>

Ratinen, M. & Lund, P. (2015). Policy inclusiveness and niche development: Examples from wind energy and photovoltaic in Denmark, Germany, Finland, and Spain, *Energy Research & Social Science*, 6, 136–145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2015.02.004>

Reis Jr, E. M. dos (2015). Avaliação do Programa “Luz para Todos” no Estado do Amazonas sob o aspecto da Qualidade da Continuidade do Serviço de Energia Elétrica. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil.

Ribeiro, A. E. D., Arouca, M. C. & Coelho, D. M. (2016). Electric energy generation from small-scale solar and wind power in Brazil: The influence of location, area and shape, *Renewable Energy*, 85, 554-563. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.071>

Rocha, L.C.S., Aquila, G., Pamplona, E. de O., Paiva, A.P.de, Chieregatti, B.G. e Lima, J. de S.B. (2017). Photovoltaic electricity production in Brazil: A stochastic economic viability analysis for small systems in the face of net metering and tax incentives, *Journal of Cleaner Production*, 168, 1448-1462. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.018>

Sánchez, A.S., Torres, E.A. & Kalid, R.A. (2015). Renewable energy generation for the rural electrification of isolated communities in the Amazon Region, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 278-290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.075>

Santos, M. J. M. (2015). Development of a methodology to incorporate risk and uncertainty in electricity power planning. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Portugal.

Shin-Je, L., Ting-Huan, C. & Ssu-Li, C. (2017). The policy effectiveness of economic instruments for the photovoltaic and wind power development in the European Union, *Renewable Energy*, 101, 660-666. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.005>

Silveira, J. L., Tuna, C. E. & Lamas, W. de Q. (2013). The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 133-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.054>

Singh, R. & Banerjee, R. (2015). Impact of Solar Panel Orientation on Large Scale Rooftop Solar Photovoltaic Scenario for Mumbai, *Energy Procedia*, 90, 401 – 411. Doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.207

Soares, M. J. (2014). Modeling a renewable electricity system: the Portuguese case. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Portugal.

Souza Lima, W. (2016). Economia de Energia Elétrica em Ambientes Inteligentes Baseada no Reconhecimento de Atividades do Usuário. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil.

Souza, I. dos S. (2013). A ponte Rio Negro e a Região Metropolitana de Manaus: adequações no espaço urbano-regional à reprodução do capital. Dissertação de doutoramento, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

Souza, L.H.V. de, & Cavalcante, A.M.G. (2016). Concentrated Solar Power deployment in emerging economies: The cases of China and Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.027>

Souza, L.H.V. de, & Cavalcante, A.M.G. (2016). Towards a sociology of energy and globalization: Interconnectedness, capital, and knowledge in the Brazilian solar photovoltaic industry. *Energy Research & Social Science*, v. 21, p. 145–154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2016.07.004>

Souza, M. P. de (2016). Análise da viabilidade de utilização da energia solar como fonte alternativa de geração de energia na cidade de Manaus. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil.

Thakur, J. e Chakraborty, B. (2016). Sustainable net metering model for diversified India, *Energy Procedia*, 88, 336 – 340. Doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.139

Tiepolo, G.M, Junior, J.U., Junior, O.C. & Viana, T. (2014). Photovoltaic Generation Potential of Paraná State, Brazil – a Comparative Analysis with European Countries, *Energy Procedia*, 57, 725-734. Doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.228

U.S. Energy Information Administration (EIA) - U.S. Federal Statistical System. Website: <https://www.eia.gov/>

Usubiaga, A., Acosta-Fernández, J., McDowall, W. & Li, F.G.N. (2017). Exploring the macro-scale CO2 mitigation potential of photovoltaic and wind energy in Europe's energy transition, *Energy Policy*, 104, 203–213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.056>

Vale, A.M., Felix, D.G., Fortes, M.Z., Borba, B.S.M.C., Dias, B.H. e Santelli, B.S. (2017). Analysis of the economic viability of a photovoltaic generation project applied to the Brazilian housing program “Minha Casa Minha Vida”, *Energy Policy*, 108, 292-298. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.001>

Vazquez, M. e Hallack, M. (2018). The role of regulatory learning in energy transition: The case of solar PV in Brazil, *Energy Policy*, 114, 465-481. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.066>

World Energy Outlook (2017). Executive Summary. International Energy Agency – IEA. Website: www.iea.org

Yaniktepe, B. & Genc, Y. A. (2015). Establishing new model for predicting the global solar radiation on horizontal surface. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 40, p. 15278-15283.

Yue, D., You, F. & Darling, S. B. (2014). Domestic and overseas manufacturing scenarios of silicon-based photovoltaic: Life cycle energy and environmental comparative analysis, *Solar Energy*, 105, 669-678. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.04.008>

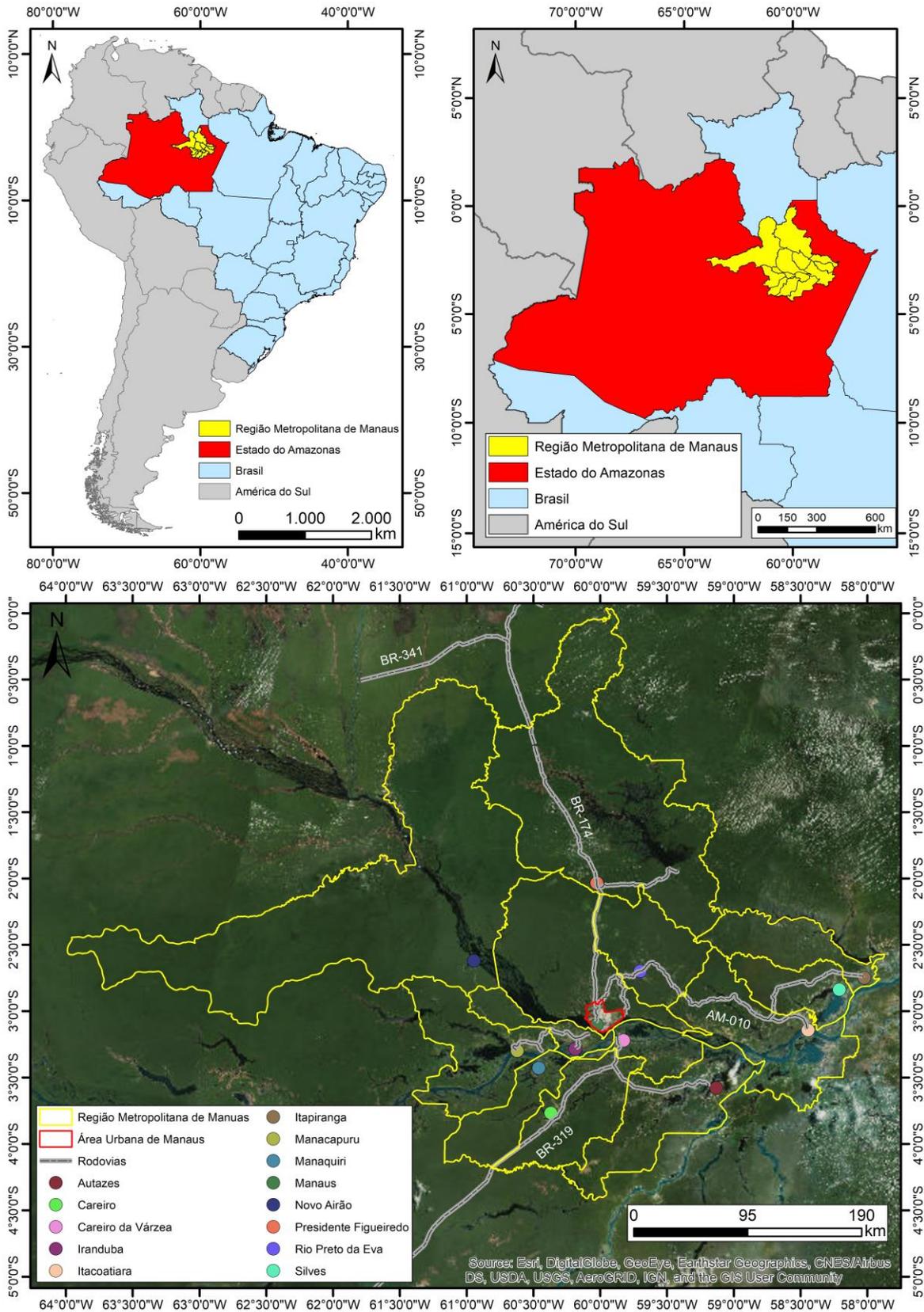
Zandi, M., Bahrami, M., Eslami, S., Gavagsaz-Ghoachani, R., Payman, A., Phattanasak, M., Nahid-Mobarakeh, B. & Pierfederici, S. (2017). Evaluation and comparison of economic policies to increase distributed generation capacity in the Iranian household consumption sector using photovoltaic systems and RET Screen software, *Renewable Energy*, 107, 215-222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.051>

Zhang, C., Campana, P. E., Yang, J. & Yan, J. (2016). Analysis of Distributed Photovoltaic Financing: A Case Study Approach of Crowd-funding with Photovoltaic Water Pumping System in Microgrids, *Energy Procedia*, 103, 387 – 393. Doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.304

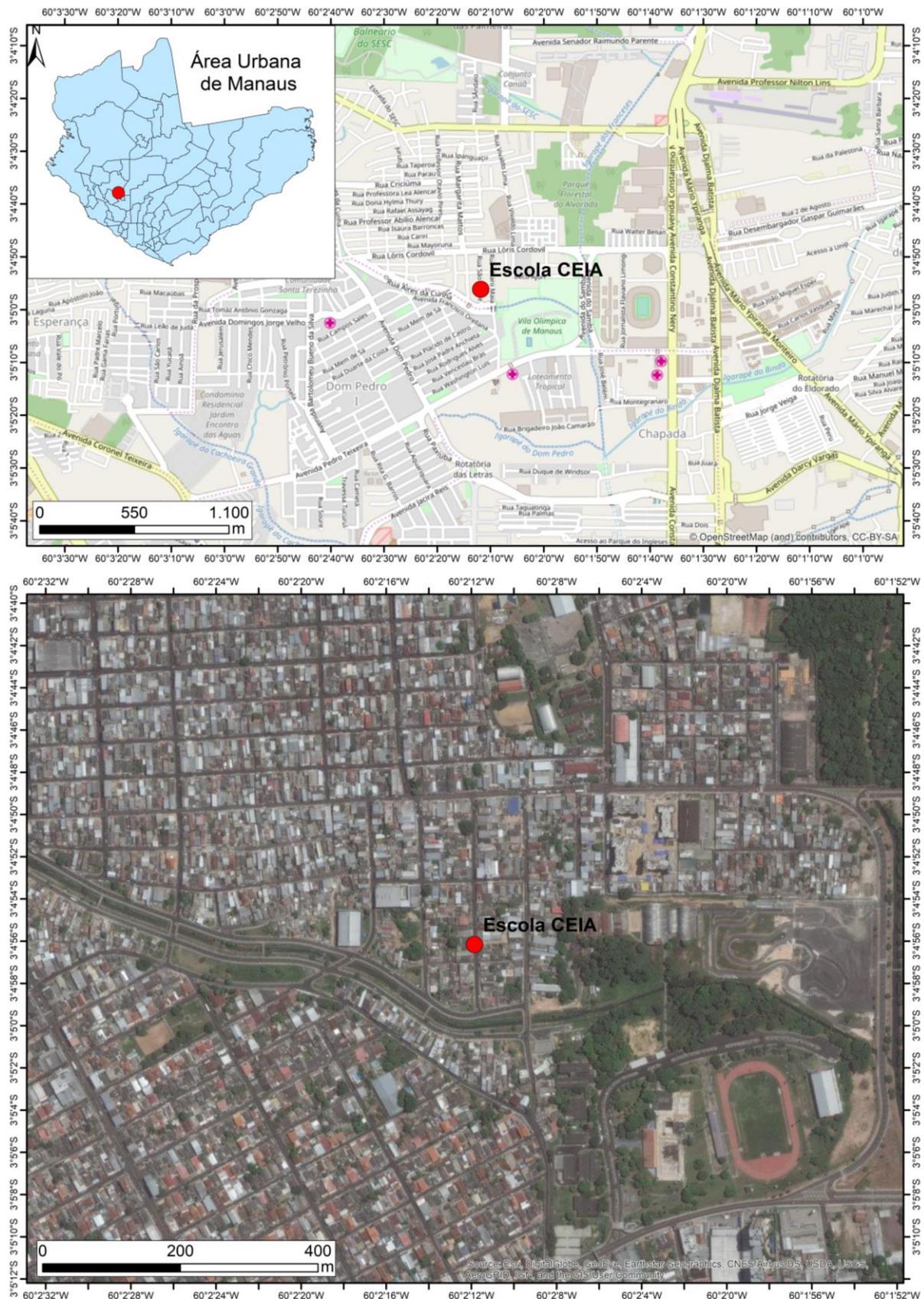
Potencial de uso da energia solar fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro

Zhao, Z., Chen, Y. & Chang, R. (2016). How to stimulate renewable energy power generation effectively? China's incentive approaches and lessons, *Renewable Energy*, 92, 147-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.001>

ANEXO I – MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA REGIÃO METROPOLITANA DE MANAUS



ANEXO III - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE COMERCIAL DE PEQUENO PORTE, ESCOLA CEIA - CENTRO DE EDUCAÇÃO INFANTIL ALIANÇA



ANEXO IV - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE COMERCIAL DE MÉDIO PORTE, FACULDADE IDAAM

