

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA
SOLAR PARA A ÁREA URBANA DA CIDADE DE CUIABÁ – MT**

NATÁLIA AMORIM MAGALHÃES

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira

Cuiabá, MT
Março/2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA
SOLAR PARA A ÁREA URBANA DA CIDADE DE CUIABÁ – MT**

NATÁLIA AMORIM MAGALHÃES

*Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Física Ambiental da Universidade
Federal de Mato Grosso, como
parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Física
Ambiental.*

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira

Cuiabá, MT
Março/2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

A524a Amorim Magalhães, Natália.
ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA
A ÁREA URBANA DA CIDADE DE CUIABÁ – MT / Natália Amorim
Magalhães. -- 2020
76 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Clima. 2. Energia renovável. 3. Radiação solar. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

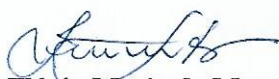
FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA
SOLAR EM ÁREAS URBANAS DA CIDADE DE CUIABÁ -
MT

AUTORA: NATÁLIA AMORIM MAGALHÃES

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 03 de março de 2020, pela
comissão julgadora:


Prof. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira
Orientadora
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia - UFMT


Prof. Dra. Flávia Maria de Moura Santos
Examinadora Interna
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia – UFMT


Marcos de Oliveira Valin Jr
Examinador Externo
Instituto Federal de Mato Grosso – IFMT

DEDICATÓRIA

À Deus pela vida e oportunidade, aos queridos familiares, e ao meu noivo, pelo amor, apoio e compreensão nas horas difíceis.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus pelo privilégio de poder realizar este sonho e ter me fortalecido, para não desanimar no meio do caminho.
- À Prof.^a Dr.^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pela orientação e principalmente pelo incentivo, apoio, pela confiança e grande amizade, ingredientes que possibilitaram a realização deste trabalho.
- Aos membros da banca examinadora, Prof.^a Dr.^a Flávia Maria de Moura Santos e Prof.^o Dr. ^o Marcos de Oliveira Valin Jr. pelas importantes contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho;
- Ao Professor Carlo Ralph, pela colaboração na análise estatística;
- A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental/IF, Universidade Federal de Mato Grosso, que compartilharam seus conhecimentos;
- A todos os colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, pelos momentos de alegria e trocas de experiências, em especial a Emília, Felipe e Fernanda;
- Ao Cesário e Soilce pelo auxílio técnico na secretaria da Pós-Graduação em Física Ambiental (UFMT);
- Ao CNPQ pelo apoio financeiro para esta pesquisa e que proporcionou a bolsa de estudos de mestrado, sem a qual a dedicação exclusiva ao desenvolvimento do trabalho não seria possível.

EPIÍGRAFE

“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados”. Mahatma Gandhi

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMÁTICA	13
1.2. JUSTIFICATIVA	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. CLIMA URBANO.....	17
2.1.1. Escalas Meteorológicas.....	18
2.1.2. Radiação.....	20
2.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	22
2.2.1. Conceitos Gerais.....	22
2.2.2. Energia e Desenvolvimento Sustentável.....	23
2.3. ENERGIA RENOVÁVEL	26
2.3.1. Energia Renovável no Brasil.....	27
2.3.2. Tipos de energia renovável	31
2.4 PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	34
2.4.1 Conceitos Gerais.....	35
2.4.2 Tipos de Placas Solares	39
3. ÁREA DE ESTUDO.....	42
3.1. CLIMA DE CUIABÁ	46
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
4.1 MATERIAIS.....	48
4.1.1. Estação meteorológica automatizada.....	48
4.2 MÉTODOS	49
4.2.1 Análise do potencial fotovoltaico.....	49
4.1.2 Análise de insolação em escala microclimática	53
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	54

5.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	54
5.2 ANÁLISE DO POTENCIAL FOTOVOLTAICO	55
5.3. ANÁLISE DE INSOLAÇÃO EM ESCALA MICROCLIMATICA	62
6. CONCLUSÕES	64
6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
7. BIBLIOGRAFIAS	66
7.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS	66
7.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática da atmosfera urbana;	19
Figura 2: Radiação solar direta, difusa e albedo;	21
Figura 3: Série Histórica do Consumo Total de Energia Elétrica no Brasil (1970-2015) e previsão de demanda para o período 2020- 2050.	24
Figura 4: Matriz elétrica brasileira;	28
Figura 5: Sistema Interligado Nacional;	29
Figura 6: Energia Eólica	33
Figura 7: Geração de energia na placa solar	35
Figura 8: Construção do painel fotovoltaico.....	37
Figura 9: Funcionamento das células fotovoltaicas.....	37
Figura 10: Funcionamento das células fotovoltaicas.....	38
Figura 11: Funcionamento das células fotovoltaicas.....	38
Figura 12: Placa Solar.....	39
Figura 13: Painel solar monocristalino	40
Figura 14: Painel solar policristalino.....	41
Figura 15: Painel de filme fino.....	41
Figura 16: Mapa área de estudo	42
Figura 17: Perspectiva Real	43
Figura 18: Estação fixa, Porto.....	43
Figura 19: Imagem panorâmica, entorno.....	43
Figura 20: Perspectiva Real, Raio de Modelagem	44
Figura 21: Av. Getúlio Vargas, Cuiabá MT.....	44
Figura 22: Distância regiões estudadas.....	45
Figura 23: Estação Fixa	48
Figura 24: Detalhe Painel Solar	49
Figura 25: Comparativo Fatores de Capacidade Médios Anuais.....	60
Figura 26: Comparativo Fatores de Capacidade Médios por mês	61
Figura 27: Modelo 3D para estudo.....	62

Figura 28: Coberturas e Potenciais Fotovoltaicos.....	63
Figura 29: Gabarito edificações	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ângulo de inclinação recomendado para o painel fotovoltaico de acordo com sua latitude.....	34
Tabela 2: Meses com dados válidos	50
Tabela 3 : Características dos módulos fotovoltaicos escolhidos	51
Tabela 4 : Irradiação média diária e mensal nos planos horizontal e inclinado para Cuiabá-MT.	54
Tabela 5 : Irradiação média diária e mensal para Cuiabá-MT.	55
Tabela 6 : Irradiação média diária e mensal nos planos horizontal e inclinado para Cuiabá-MT.	56
Tabela 7 : Fator de capacidade Estação Fixa - Porto.....	57
Tabela 8 : Fator de capacidade no Plano Horizontal.....	58
Tabela 9 : Fator de capacidade no Plano Inclinado a 16°	59

LISTA DE ABREVIATURAS

SIN- Sistema Interligado Nacional

ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica

IPCC- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MME- Ministério de Minas e Energia

ONU-Organização das Nações Unidas

BIM-Building Information Modeling

W/m² - Watts por metro quadrado

kW/m² - Quilowatts por metro quadrado

US\$- Dolar

Hbio- Óleo diesel

INPE – Instituto de pesquisas espaciais

EPE- Empresa de Pesquisa Energética

RESUMO

MAGALHÃES, N. A. **ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA A ÁREA URBANA DA CIDADE DE CUIABÁ – MT.** 2020. 76f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

A capital de Mato Grosso, Cuiabá, assim como o restante do estado, apresenta condições climáticas intensas ao longo do ano. Cidade de clima quente e com céu predominantemente ensolarado durante todo o ano, Cuiabá possui grande potencial para a implantação de energia solar fotovoltaica, apesar de não estar localizada na área do Brasil que recebe maior radiação. Este estudo tem como objetivo geral analisar este potencial, tendo em vista a importância do aproveitamento de energias renováveis no cenário atual e do aumento da demanda por energia elétrica no Brasil. Para tanto, como objetivos específicos, a análise foi feita por meio dos dados de irradiação provenientes do software SunData, tanto no plano horizontal, quanto no plano inclinado ideal para a geração de energia, e pelos dados da estação fixa do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental (PGFA), localizada na região do Porto, em Cuiabá, MT e a partir deles foi calculado o fator de capacidade de duas placas solares, escolhidas com base em critérios de qualidade e bom custo benefício, para a irradiação incidente na área urbana de Cuiabá, MT. Além disso, foi realizada uma análise do potencial na escala microclimática a partir de modelagem 3D gerada pelo software Autodesk Revit em conjunto com o plugin Insight Analysis. Portanto, a energia solar fotovoltaica é vantajosa, já que as placas escolhidas no estudo obtiveram o médias de fator de capacidade maiores que 15,1%, além disso ela complementa a energia produzida por hidrelétricas e outras fontes, alivia o aumento do pico da demanda de energia durante o dia, não gera emissões no processo de produção de energia elétrica, ainda, dispensa o uso de combustíveis, reduzindo seu custo de geração.

Palavras-Chave: Clima, Energia Renovável, Radiação solar

ABSTRACT

MAGALHÃES, N. A. ANALYSIS OF THE POTENTIAL FOR THE USE OF SOLAR ENERGY FOR THE URBAN AREA OF THE CITY OF CUIABÁ - MT. 2020. 76f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

The capital of Mato Grosso, Cuiabá, as well as the rest of the state, presents intense climatic conditions throughout the year. A city with a hot climate and a predominantly sunny sky all year round, Cuiabá has great potential for the deployment of photovoltaic solar energy, despite not being located in the area of Brazil that receives the most radiation. This study has the general objective of analyzing this potential, considering the importance of using renewable energies in the current scenario and the increased demand for electricity in Brazil. For this purpose, as specific objectives, the analysis was carried out using irradiation data from the SunData software, both in the horizontal plane and in the ideal inclined plane for power generation, and by the data from the fixed station of the Postgraduate Program in Environmental Physics (PGFA), located at the Porto region, in Cuiabá, MT and from them the capacity factor of two solar panels was calculated, chosen based on quality and good cost benefit criteria, for irradiation incident in the urban area of Cuiabá, MT. In addition, an analysis of the potential on the microclimate scale was performed based on 3D modeling generated by the Autodesk Revit software in conjunction with the Insight Analysis plugin. Therefore, photovoltaic solar energy is advantageous, since the plates chosen in the study obtained a capacity factor average greater than 15.1%, in addition it complements the energy produced by hydroelectric plants and other sources, relieves the increase in peak demand of energy during the day, it does not generate emissions in the electric energy production process, yet it does not use fuels, reducing its generation cost.

Keywords: Climate, renewable energy, Solar radiation

1. INTRODUÇÃO

1.1.PROBLEMÁTICA

Autoridades e cientistas do planeta se voltam todos os anos em discussões e colocam em voga o aquecimento global. Além desta, são muitas as pautas relacionadas ao clima, tais como a poluição atmosférica e a preocupação com os recursos naturais presentes no globo, tendo em vista que o processo de industrialização e o desenvolvimento econômico vêm se estreitando cada vez mais e consumindo as fontes presentes no planeta de forma indiscriminada.

Atualmente, há uma exploração progressiva das fontes de energia não renováveis. O aumento do consumo de bens materiais para atender a demanda do sistema econômico faz com que se tenha, também, o crescimento da produção. Isso em conjunto intensifica a destruição dos recursos naturais e, como consequência, altera o ciclo de vida tanto da flora quanto da fauna.

Ademais, o Brasil como um país tropical já sente de forma intensa as mudanças climáticas presentes no globo, invernos e verões com intensidade maior do que o normal, precipitações e secas que trazem sofrimento e tragédias para a vida de toda a população.

Quando se reduz a escala a preocupação com o clima permanece, em Mato Grosso, mas principalmente sem sua capital, Cuiabá, que possui o clima quente o ano todo e épocas do ano severas de seca, vale frisar a preocupação com as estratégias que tragam maior conforto dentro do seu microclima urbano.

Além disso, outro ponto de extrema importância é que, na atualidade, a demanda de consumo cresce constantemente para suprir a necessidade da população e das cidades em expansão, o que se dá em detrimento das novas tecnologias e da vida informatizada.

Hoje, o sistema elétrico brasileiro está quase totalmente conectado através do Sistema Interligado Nacional (SIN), que possibilita por meio de sua malha de transmissão o suprimento de energia elétrica nas regiões interligadas eletricamente,

permitindo, desta forma, a obtenção de ganhos sinérgicos e explorando a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias.

De acordo com Pereira et al. (2017), aponta-se um crescimento da demanda de eletricidade na ordem de 200% para os próximos 30 anos, com base na série histórica do consumo de eletricidade no Brasil.

Quando avaliadas as características de suscetibilidade dos recursos hídricos em conjunto com o crescimento da demanda de eletricidade, nota-se a necessidade de diversificar as fontes de energia que compõem a matriz energética brasileira, buscando, assim, aproveitar fontes de energia que gerem baixo impacto ao meio ambiente.

1.2.JUSTIFICATIVA

Sabe-se que se não ocorrer uma mudança consciente no modo de vida das pessoas nossas interferências no planeta serão irreversíveis e conduzirão a consequências desastrosas em alguns anos. Existe uma necessidade inevitável pela mudança do tipo de atividade humana, de maneira a obrigar a identificar e implementar novos métodos de desenvolvimento.

Além disso, com as questões ambientais, cada vez mais em evidência no cenário mundial, viu-se a necessidade de uma fonte que, diferentemente dos combustíveis fósseis, considerados os responsáveis pelas mudanças climáticas no mundo, gere poucos impactos durante a sua produção e consumo.

Algumas dessas fontes alternativas, denominadas fontes renováveis, são definidas como “provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta”. Alguns exemplos são a energia hidráulica, eólica, solar e oceânica. Existem diversos métodos e tecnologias capazes de reduzir o impacto da ação antrópica, principalmente no que diz respeito à energia renovável.

Nessa perspectiva, o crescimento acelerado das energias renováveis é resultado de avanços tecnológicos que proporcionaram aumento da eficiência na geração e

redução de custos, inovações em instrumentos e estratégias de financiamento, impulsionado pelo apoio de políticas públicas em grande parte do mundo.

Estudos visando o desenvolvimento e avaliação de novas estratégias passivas capazes de garantir a sustentabilidade da construção aliada ao conforto do usuário são de extrema relevância. No Brasil o uso da placa solar vem sendo muito difundido e incentivado, o que chama a atenção para estudos que comprovem a eficiência desta em detrimento da especulação do mercado que visa apenas o lucro de sua implantação.

No estado de Mato Grosso, esta modalidade de micro e mini geração de energia é isenta de ICMS, e já existem micro usinas de energia solar em funcionamento, como a da sede do Sebrae e do Centro de Sustentabilidade na capital Cuiabá, que, somadas, possuem capacidade instalada de 120 kWh/mês. Os níveis de irradiação solar na região de Cuiabá se mantêm constante ao longo do ano, indicando grande potencial para a exploração e geração de energia fotovoltaica.

A geração de energia dentro dos limites da cidade pode, ainda, trazer muitas vantagens, como o aumento da eficiência devido à redução das perdas de transmissão de energia. O potencial de geração de energia pode, também, ser otimizado a partir do uso da tecnologia associado ao aproveitamento da morfologia urbana, nas coberturas e nas fachadas das edificações.

As edificações são um dos mais relevantes objetos do ponto de vista de produção de energia solar e devem ser considerados como objetos de projeção de sombras e como coletores solares, cuja complexidade geométrica influencia no potencial fotovoltaico.

A compactidade urbana, por exemplo, impacta no potencial de captação da radiação solar devido ao sombreamento de edifícios mais altos sobre seus circundantes, ou seja, bairros mais compactos, com mais prédios e densidade construtiva, recebem menos radiação solar que bairros mais espalhados.

Um ponto relevante a se observar é a existência de fontes de sombreamento, como árvores e edifícios, já que estes podem provocar a redução na produção de energia e, com isso, elevar o custo financeiro, retardando o retorno do investimento da unidade de micro geração.

A análise da energia solar na escala urbana pode ser realizada por ferramentas especializadas, como, por exemplo, os *softwares* Radiance, DIVA, CitySim, SUNtool, ou mesmo extensões que podem ser utilizadas em conjunto a outros *softwares*, como as extensões Solar Energy Analysis, disponível para o SketchUp, e Insight Solar Analysis, disponível para o Autodesk Revit.

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho é analisar o potencial de utilização de energia solar para a área urbana da cidade de Cuiabá-MT. Os objetivos específicos foram analisar o potencial fotovoltaico a partir da radiação adquirida por estação meteorológica fixa e analisar a insolação em escala local, fazendo o uso de software de modelagem 3D.

Sendo assim, será avaliado o potencial, frente à iminente necessidade de se adotar fontes de energia alternativas que visem minimizar a geração de poluentes em sua produção e de impactos no meio ambiente, de forma limpa, barata e disponível à população.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CLIMA URBANO

Segundo Romero (2001) o clima é influenciado por fatores globais (radiação solar, altitude, latitude, massas de ar e terra, ventos) e locais (topografia, vegetação e superfícies do solo), bem como por seus elementos (temperatura, umidade e movimento do ar e precipitação). De acordo com Monteiro (1990), o clima urbano surge como maior expressão de poder de decisão do homem sobre as características atmosféricas e ecológicas de um lugar.

Oke (1987) fez estudos relacionando a intensidade da ilha urbana de calor à densidade populacional, aplicado a cidades Europeias e Norte-Americanas. Este mesmo autor demonstrou, ainda, que a geometria urbana, bem como as propriedades térmicas das superfícies tem maior influência que o vento e a densidade populacional.

O clima constitui-se numa das dimensões do ambiente urbano e seus estudos oferecem importantes contribuições ao equacionamento da questão ambiental nas cidades. As condições climáticas destas áreas, entendidas como clima urbano, são derivadas da alteração da paisagem natural e da sua substituição por um ambiente construído, palco de intensas atividades humanas (MENDONÇA, 2003).

Para Oke (1976), o clima urbano é uma modificação substancial de um clima local, resultado de condições particulares do meio ambiente urbano, podendo ser pela rugosidade do tecido urbano, assim como pela sua ocupação, permeabilidade e/ou pelas propriedades térmicas dos materiais que o compõem.

As cidades quando comparadas com o meio rural próximo, têm a capacidade de gerar um ecossistema próprio que, habitualmente, é caracterizado por altas temperaturas e consequente desconforto térmico (VIANA & AMORIM, 2009).

Segundo Lima & Amorim (2010) a substituição dos ambientes naturais por áreas urbanas gera o aumento das temperaturas na escala local. Este fenômeno ocorre em função de vários fatores, tais como a diminuição das áreas verdes, a canalização dos córregos, o aumento das indústrias que liberam poluentes na atmosfera entre outras atividades inerentes à vida nas cidades, que além de gerarem o aumento nas temperaturas,

causam a redução da umidade relativa, dando origem a um clima particular, denominado clima urbano.

As cidades apresentam condições climáticas muito diferentes quando comparadas com as áreas vizinhas, fato que está segundo diversos autores como Monteiro (1976), Lombardo (1985) e Mendonça (2003), relacionado à intensidade de urbanização, expressa em termos de espaço físico construído, que altera significativamente o clima. Segundo Ayoade (2007), o homem tem exercido um impacto tão grande nas áreas urbanas, que o clima urbano é bastante distinto, por suas características, do clima das áreas rurais circundantes. Nas áreas urbanas, altera-se a composição química da atmosfera. As propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre, assim como seus parâmetros aerodinâmicos são modificados pelos processos de urbanização e industrialização. Os pântanos são drenados e as superfícies naturais são substituídas por superfícies pavimentadas, ruas e telhados de prédios.

2.1.1. Escalas Meteorológicas

De acordo com Minella (2009), é atribuída a Orlanski (1975) a diferenciação atmosférica quanto a escala espacial e temporal, classificada como: macroclima, mesoclima e microclima.

Os dados macroclimáticos são obtidos nas estações meteorológicas e descrevem o clima geral de uma região. Os dados mesoclimáticos, informam as modificações do macroclima provocadas pela topografia local como vales, montanhas, grandes massas de água e vegetação. No microclima são levados em consideração os efeitos das ações humanas sobre o entorno, assim como a influência que estas modificações exercem sobre a ambiência dos edifícios, (MASCARÓ, 1996).

Já para Oke (2004), as alterações climáticas em ambiente urbano podem ser observadas em diferentes escalas climáticas (distância horizontal) e limites da camada atmosférica (distância vertical).

A escala local analisa os efeitos da característica das paisagens no clima, tal qual a topografia, porém exclui os efeitos do microclima (Figura 1). Nas cidades o que se nota

nas relações de uso e ocupação do solo, densidade construída e permeabilidade das superfícies, ou seja, a ação antrópica. Essa escala é adotada quando se tem dimensões que variam entre um a mais quilômetros. Nessa classificação de escala utilizam-se dados diários e horários coletados durante um período que pode variar de cerca de um ano, um trimestre ou mesmo por um episódio típico de verão ou de inverno. Tais dados costumam ser coletados pelo próprio pesquisador, (OKE, 2004).

Segundo Oke (1981) a escala microclimática é a camada mais próxima do solo (Figura 1). É típica para microclimas urbanos, sendo também ajustada pelo dimensionamento de elementos individuais: prédios, árvores, estradas, ruas, pátios, jardins e etc., Tendo como unidade de superfície metros.

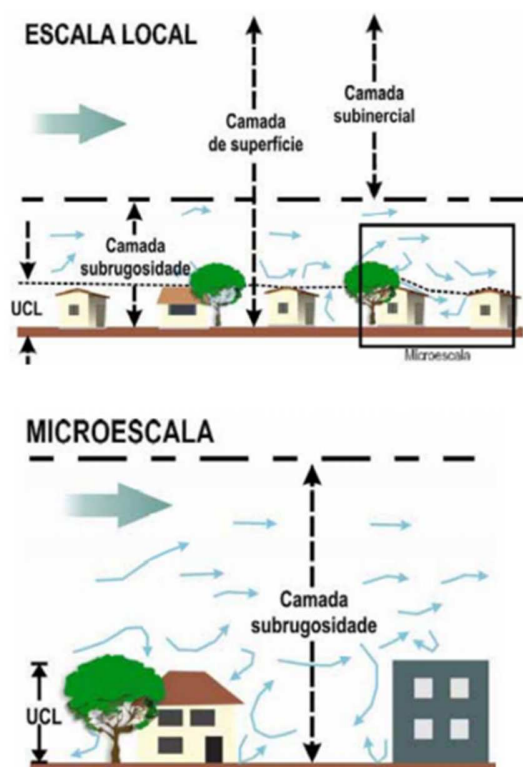


Figura 1: Representação esquemática da atmosfera urbana;
Fonte: Adaptado de Oke (2004)

2.1.2. Radiação

Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar e etc.), a disponibilidade de radiação solar depende também da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Desse modo a duração solar (período/tempo de exposição ao sol) muda de região para região tendo maiores variações nas regiões polares. Já as regiões próximas a linha do Equador não têm altas variações quanto ao tempo de insolação. (ANEEL, 2012).

Segundo Angelocci et al. (2002), a radiação solar é a maior fonte de energia para a Terra, sendo também o principal elemento meteorológico, pois desencadeia todo o processo meteorológico afetando todos os outros elementos (temperatura, pressão, vento, chuva, umidade, etc.). É um elemento primordial no entendimento da variação dos demais. A energia solar é a fonte primária de energia para todos processos terrestres, desde a fotossíntese, responsável pela produção vegetal e manutenção da vida na presente forma, até o desenvolvimento de furacões, tempestades, enfim, pela circulação geral da atmosfera e oceanos.

As regiões desérticas do mundo são as mais bem-dotadas de recurso solar. Exemplos disso são as cidades de Dongola, localizada no Deserto Árábico, no Sudão, e a região de Dagget no Deserto de Mojave e Califórnia, Estados Unidos, onde está instalada uma das maiores usinas solares do mundo com capacidade de 354 MW (CRESESB, 2014).

A radiação solar que chega à superfície terrestre ocorre em dois eventos, que são divididos em componentes: de direção direta e direção difusa (Figura 2). A direção direta é aquela que provém diretamente da direção do Sol e produz sombras nítidas. A difusa é proveniente de todas as direções, que atinge a superfície terrestre após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre. A parcela da radiação solar que chega à Terra e é refletida pelo solo, é chamada de albedo (VILLALVA; GAZOLI, 2013). Quando temos um dia nublado, temos 100% de radiação difusa. Em dias totalmente sem nuvens, temos somente 20% de radiação difusa, sendo 80% radiação direta. Os projetos para sistemas fotovoltaicos, tem uma demanda mínima de irradiação de 3 a 4 kWh/(m².dia) (125 a 166W/m²) (GREENPRO, 2004).

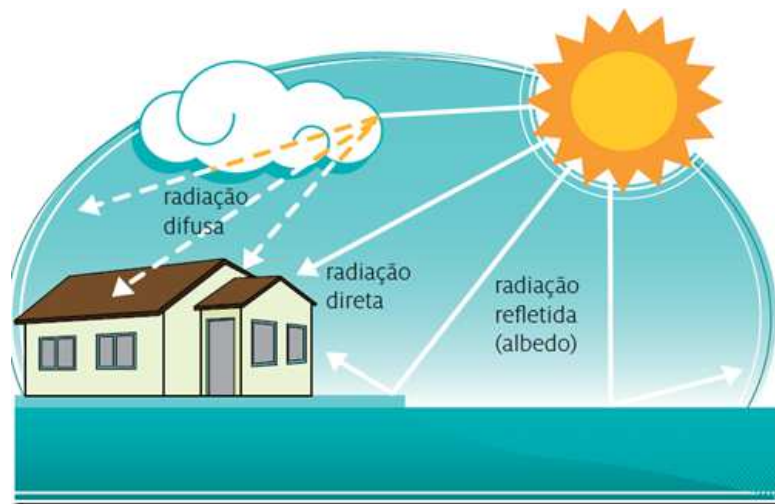


Figura 2: Radiação solar direta, difusa e albedo;
Fonte: Invisible Flame Light (2018)

Na superfície urbana, há menor reflexão de radiação de ondas curtas em comparação com áreas rurais, devido à geometria da cidade e ao coeficiente de reflexão dos materiais urbanos. As ruas e vias ladeadas por paredes verticais vizinhas entre si, características da arquitetura das cidades, possibilitam que grande parte da radiação refletida por uma superfície qualquer seja absorvida por outra próxima.

O conhecimento do recurso solar é a variável mais importante, para o desenvolvimento de um projeto de geração de energia através de placas fotovoltaicas (CRESESB, 2014). A irradiância é uma grandeza usada para quantificar a radiação solar, também chamada de irradiação expressa na unidade W/m^2 (watt por metro quadrado).

A irradiância, trata-se de uma unidade de potência por área. Como se sabe, a potência é uma grandeza física que expressa a energia transportada durante um certo intervalo de tempo, ou a taxa de variação da energia com o tempo. Quanto maior a potência da radiação solar, mais energia ela transporta em um determinado intervalo de tempo (VILLALVA, 2015).

Diversos trabalhos já avaliaram o potencial da energia solar na malha urbana sob diferentes óticas, desde indicadores morfológicos (MOHAJERI et al., 2016; MORGANTI et al., 2017) à verificação do potencial pela integração com modelos 3D (KANTERS; HORVAT, 2012; MACHETE et al., 2018; PILI et al., 2018).

2.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

2.2.1. Conceitos Gerais

Ao contrário do que ocorreu na origem do ambientalismo, o objeto de escolha do pensamento ecológico atualmente não se situa mais entre desenvolvimento ou proteção do meio ambiente. A escolha se coloca precisamente entre que tipo de desenvolvimento se deseja implementar de agora em diante, uma vez que, após a criação das tecnologias limpas – a nova vantagem competitiva no mercado –, desenvolvimento e meio ambiente deixaram de ser considerados como duas realidades antagônicas, e passaram a ser complementares. (LAYRARGUES, 1997).

O conceito de desenvolvimento sustentável é resultado de um processo de avaliação e reavaliação entre a sociedade e o meio ambiente. Nesta linha, tratando-se de um processo contínuo, várias abordagens foram elaboradas e sofreram alterações gradativas, ao longo do tempo, buscando equilíbrio entre as dimensões social, econômica e ambiental.

Desenvolvimento sustentável pode ser conceituado como aquele que atende as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades (OECD, 2014).

Além disso, vale frisar que é um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, o direcionamento dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e reforçam o atual e futuro potencial para satisfazer as aspirações humanas.

O Brasil considera como prioridade os objetivos do desenvolvimento sustentável, conforme os documentos criados para direcionar políticas voltadas a eles. Ainda é considerada como diretriz central a superação das desigualdades.

2.2.2. Energia e Desenvolvimento Sustentável

A necessidade de energia para o desenvolvimento de um país é algo evidente e a aplicação de tecnologias que buscam o incremento da eficiência energética e a sustentabilidade da produção asseguram um desenvolvimento com impactos ambientais amenizados.

A presença das hidroelétricas na matriz energética brasileira torna o sistema singular no que se refere aos aspectos de impactos ambientais e emissões de gases de efeito estufa.

Entretanto, a hidroeletricidade, tal como grande parte das fontes renováveis de energia, está condicionada à fatores climáticos, sendo assim a energia armazenada em períodos secos pode atingir valores preocupantes levando em consideração a segurança energética do país.

De acordo com Pereira et al. (2017) com esse recurso natural escasso no mundo, a oferta de energia diminui, induzindo o crescimento do risco ao sistema energético e acarretando elevação dos preços da energia no país. Além do mais, nos períodos de menor incidência de chuvas, o uso da água para geração de energia impacta criticamente no uso desse recurso para demais finalidades, como agricultura ou abastecimento.

Para ilustrar, a demanda crescente por energia no Brasil, como mostra a Figura 3, está sendo atendida em grande parte por uma ampliação das fontes térmicas não renováveis (como óleo, carvão e gás natural) em um processo de carbonização na matriz elétrica brasileira.

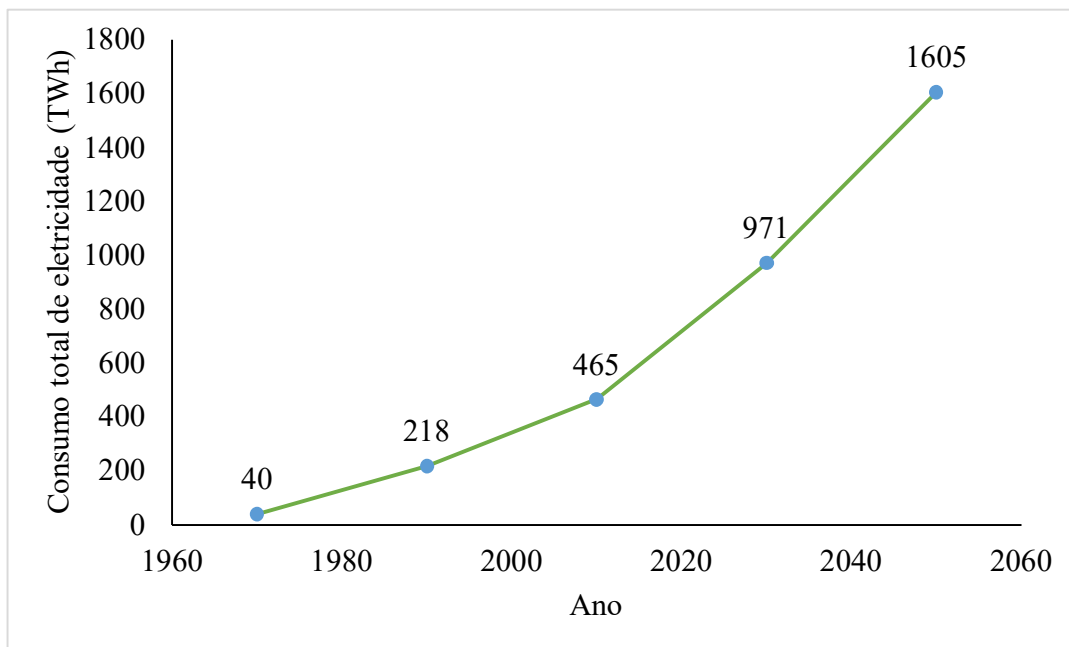


Figura 3: Série Histórica do Consumo Total de Energia Elétrica no Brasil (1970-2015) e previsão de demanda para o período 2020- 2050.

Fonte: Adaptado de Pereira et al. 2017

Dados recentes mostram que as usinas termoeletricas à combustíveis fósseis, incluindo nuclear, chegaram a responder por quase 26% da oferta interna de energia elétrica em 2015 frente a um decréscimo na geração hidráulica de 81% para 62% entre 2011 e 2015, em parte devido à grave estiagem no período. Tal fato fez com que as emissões de carbono na geração de energia elétrica subissem de 82 para 137 kgCO₂/MWh no período analisado (MME, 2016a).

Nota-se que os grandes empreendimentos hidroelétricos do Brasil, são a principal ação de governo quando se leva em consideração a aplicação de recursos não renováveis para geração de energia.

Contudo, estes projetos enfrentam crescentes críticas, tendo em vista os impactos sociais e ambientais causados pelas grandes áreas alagadas que implicam em remoção de populações ribeirinhas e indígenas, emissões de metano, alteração do ciclo hidrológico e danos ao equilíbrio ecossistêmico local.

Ademais, outro ponto é que os investimentos em grandes hidroelétricas intensificam a vulnerabilidade da matriz elétrica brasileira ao regime de chuvas, com forte influência na segurança energética do país.

Em outras palavras, a capacidade de geração de energia elétrica por meio das hidroelétricas vem caindo a cada ano – aproximadamente 20 pontos percentuais em relação ao total gerado, nos últimos 10 anos – acarretando um aumento do risco de apagões e do custo da energia devido ao despacho adicional de usinas termoeletricas (TIEPOLO et al.,2016).

Em suma, esta é uma situação completamente desfavorável, em razão da incerteza associada aos cenários atuais de mudanças climáticas e suas possíveis interferências na frequência de eventos extremos, devendo ser de alguma forma mitigada.

Torna-se claro, portanto, que a energia solar pode desempenhar um importante papel na expansão da matriz elétrica brasileira. O aproveitamento do recurso energético solar consiste na conversão da energia emitida pelo Sol em energia térmica ou diretamente em energia elétrica (processo fotovoltaico). O uso de tecnologias de conversão de energia solar vem crescendo mundialmente a taxas elevadas, tanto para aplicações térmicas, quanto fotovoltaicas.

Entre 2010 e 2016, a capacidade instalada global por sistemas fotovoltaicos cresceu em média 40% contra 16% da eólica e aproximadamente 3% da hídrica (REN21, 2017).

O uso de sistemas fotovoltaicos possibilita a geração distribuída de eletricidade com plantas de pequena e média escala instaladas em edifícios residenciais e comerciais que produzem energia para consumo próprio e despacham o excedente para distribuição na rede do sistema elétrico. A geração distribuída pode contribuir para a redução de perdas no Sistema Interligado Nacional (SIN) em razão da distância entre as plantas de geração e os centros consumidores.

Por oportuno, vale frisar que o aproveitamento do recurso solar favorece o controle hídrico nos reservatórios, especialmente nos períodos de menor incidência de

chuvas, e possibilita planejamento e otimização de novos investimentos em geração, transmissão e distribuição da energia.

2.3. ENERGIA RENOVÁVEL

Segundo Pacheco (2006) no campo das discussões sobre a questão energética, aprofundada pelo cenário internacional de escassez do petróleo e pelas mudanças no clima, ocasionadas pela queima de combustíveis fósseis, surgem pesquisas e estudos técnicos, econômicos e de impactos socioeconômicos e ambientais de empreendimentos de energias alternativas ou renováveis voltados para o desenvolvimento na produção de energia.

Dentre vários tipos de produção a partir de energia renovável tem-se: matéria orgânica de origem animal e vegetal, a biomassa; força dos ventos, a chamada energia eólica; através da captação da luz do sol, a energia solar; pequenas centrais hidroelétricas, as quais atendem a demandas em áreas periféricas ao sistema de transmissão.

A nova ordem mundial é a busca pela autossuficiência em geração de energia, aliada a uma diversificação da matriz energética, ou seja, a procura por diferentes fontes de energias alternativas que supram a demanda interna dos países, no caso de uma escassez de combustíveis fósseis. Para tanto, os países têm que ter sob controle fontes primárias de geração de energia elétrica, térmica e veicular e em um mundo globalizado é necessário que haja uma interdependência entre os países e uma autossuficiência em alguma fonte de energia (IGNATIOS, 2006).

Essa diversificação trará aos países mais segurança à oferta de energia sem sucumbir às pressões de preços de insumos ou adversidades climáticas.

As energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta e se configuram como um conjunto de fontes de energia que podem ser chamadas de não-

convencionais, ou seja, aquelas não baseadas nos combustíveis fósseis e grandes hidroelétricas (PACHECO,2006).

Segundo Pacheco (2006) atualmente, por ser mais apropriado, utilizam-se denominações Energias Renováveis e Novas Energias, para delimitar o conceito naquelas com ciclos de renovação natural, que se originam da energia solar como fonte primária.

Incluindo-se nesta categoria a energia eólica, de biomassa e a solar, estas são formas de energia que se regeneram de uma forma cíclica em uma escala de tempo reduzida. Estas energias renováveis podem e devem ser utilizadas de forma sustentável, de maneira tal que resulte em mínimo impacto ao meio ambiente.

Este tipo de geração de energia está aos poucos conquistando o espaço que antes era ocupado totalmente pelas fontes fósseis, o que tem sido propiciado pelo desenvolvimento tecnológico que permite o aproveitamento dessas fontes renováveis como combustíveis alternativos.

2.3.1. Energia Renovável no Brasil

Nesta busca por fontes alternativas o Brasil apresenta grande diferencial em relação a outros países, pois a sua imensa biodiversidade, permite a geração de energia por vários meios, incluindo as fontes de energia renováveis como a hidrelétrica e também a busca pelo desenvolvimento de fontes alternativas como a utilização da biomassa, para produção de combustíveis renováveis, como o álcool, o biodiesel, e, mais recentemente, o H-bio (PACHECO, 2006).

Hoje, segundo dados do Ministério de Minas e Energia, no Brasil, cerca de 45% da sua matriz energética é renovável, considerando as grandes hidrelétricas, o que deixa o País, em que a média mundial é de 14%, e nos países desenvolvidos não passa de 6%. Porém, quando se trata de energias alternativas, como a biomassa gerada a partir de matérias orgânicas, este percentual cai para 3,1%. O contrassenso é que o Brasil tem grande potencial para elevar esse percentual e investir mais em energias alternativas, pois possui características bastante favoráveis, como a extensão territorial, a mão-de-

obra e o desenvolvimento tecnológico, que possibilitariam tanto complementar o abastecimento das tradicionais redes elétricas como produzir combustíveis.

Nesta busca por fontes renováveis, o Brasil, como já foi destacado, está em vantagem em relação ao resto do mundo, pelas altas taxas de luminosidades e pelas grandes dimensões territoriais.

Porém, o sistema elétrico brasileiro apresenta-se como um sistema essencialmente hidrotérmico de grande porte com forte predominância de usinas hidroelétricas e com múltiplos proprietários, formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Em maio de 2017, a capacidade total de geração de energia elétrica no Brasil atingiu a marca aproximada de 152 GW com participação das diversas fontes de energia conforme ilustrado na Figura 4 (ANEEL, 2017).

Enquanto as termoelétricas e as hidroelétricas são consideradas fontes firmes capazes de garantir o atendimento da demanda de carga típica do sistema, fontes renováveis como a eólica e a solar fotovoltaica são consideradas fontes intermitentes de energia devido à variabilidade temporal elevada associada às condições meteorológicas presentes no local de implantação.

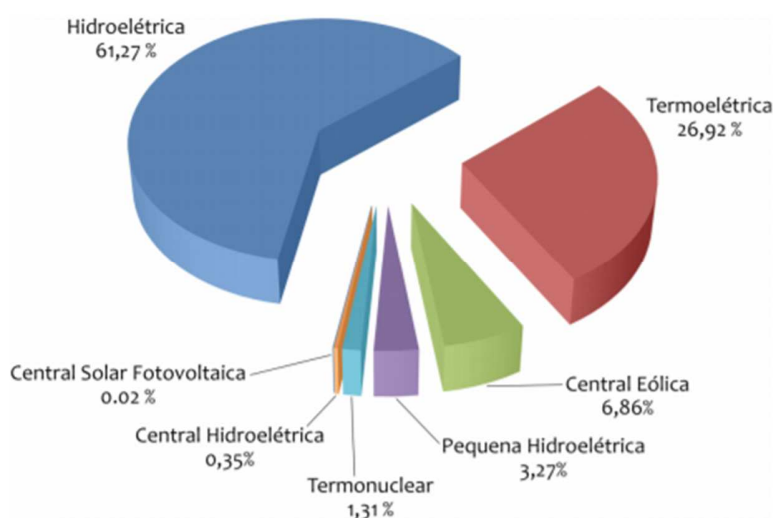


Figura 4: Matriz elétrica brasileira;
Fonte: Atlas Solar - INPE (2017)

Atualmente, o sistema elétrico brasileiro está praticamente todo conectado através do Sistema Interligado Nacional (SIN), com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial. Apenas 1,7% do total da demanda de energia elétrica no Brasil é atendida por sistemas isolados (não conectados ao SIN), localizados principalmente na região amazônica. A Figura 4 mostra o mapa do Sistema Interligado Nacional (ONS, 2015), ilustrando a abrangência nacional do SIN. A Figura 5 apresenta previsão que aponta um crescimento da demanda de eletricidade na ordem de 200% para os próximos 30 anos, com base na série histórica do consumo de eletricidade no Brasil (MME, 2016b).



Figura 5: Sistema Interligado Nacional;
Fonte: Atlas Solar – INPE (2017)

Levando em consideração às características de suscetibilidade do recurso hídrico em conjunto com o crescimento da demanda de eletricidade, mostra-se de extrema importância a diversificação das fontes de energia que compõem a matriz

elétrica brasileira, buscando assim, o aproveitamento de fontes de energia que causem baixo impacto ao meio ambiente.

Aliados à necessidade de diversificar as fontes de energia, existem ainda os compromissos apresentados pelo Brasil às Nações Unidas para redução de emissão de gases do efeito estufa (NDC, 2016). Esses compromissos foram ratificados em reunião na ONU realizada em setembro de 2016. O país incluiu, entre seus compromissos, a meta de alcançar 45% de participação de fontes renováveis de energia (incluindo fonte hídrica, com participação das demais renováveis entre 28% e 33% deste total) na matriz energética e reduzir em 43% as emissões de gases de efeito estufa até 2030 em relação aos níveis de emissões observados em 2005 (PEREIRA et al, 2017) .

Considerando os aspectos mencionados, uma questão importante que se apresenta neste momento é o planejamento do setor energético para servir como ferramenta de apoio na formulação de políticas públicas específicas a fim de garantir o atendimento da demanda crescente de energia. O planejamento energético também é extremamente importante para assegurar o abastecimento de energia ao menor custo, com o menor risco de desabastecimento e com os menores impactos socioeconômicos e ambientais.

Um instrumento importante do planejamento energético é o acompanhamento da curva de carga do sistema elétrico. A curva de carga permite analisar o comportamento da demanda solicitada no sistema elétrico e verificar quais futuros investimentos serão necessários nos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia. Estudos mostram que grande parte da demanda de energia elétrica ocorre durante o horário comercial, decorrente das necessidades de climatização de ambientes e da crescente participação dos setores de prestação de serviços e comércio nas atividades econômicas do país (Zilles, 2011; Tiepolo, 2015). A demanda de eletricidade nesse período do dia coincide com o período de maior disponibilidade do recurso solar, o que torna esse recurso energético uma opção natural.

No que tange à energia solar, o Programa de Universalização¹ desenvolvido pelo MME e pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), viabiliza o crescimento de painéis fotovoltaicos e traz entusiasmo às empresas que investem em

energia solar. Representa uma pequena participação na matriz energética (estima-se 10 MW) e alto custo de instalação (US\$ 8 mil por KW).

O Brasil tem grande potencial para a implementação de painéis fotovoltaicos, com valores anuais de insolação que giram entre 1800 KWh/m²/ano e 1950 KWh/m²/ano sendo inferiores somente a regiões desérticas das Américas do Norte e do Sul, Norte da África, Oriente Médio, China e Austrália (VICHÍ; MANSOR, 2009; TIBA, 2000). Isto coloca o Nordeste em posição de destaque em relação às demais regiões do mundo com maior potencial de energia solar.

Essas especificidades, como clima quente e alto índice de insolação ao longo do ano, compõem um quadro altamente favorável ao aproveitamento, em larga escala, da energia solar (PETROBRAS, 2006).

O principal obstáculo tem sido o alto custo no ato da compra do sistema fotovoltaico, que lentamente está sendo vencido, graças ao aumento da procura, fazendo com que as indústrias consigam produzir mais e reduzir os preços (GOMES, 2012).

Atualmente, no Brasil existem laboratórios e equipes especializadas, dentro de universidades, trabalhando em pesquisas para aperfeiçoar o sistema fotovoltaico. Porém ainda não se atingiu o nível tecnológico dos países desenvolvidos nesta área (GTES, 2014).

2.3.2. Tipos de energia renovável

As fontes de energia renovável podem ser captadas com maior facilidade e integradas aos sistemas de abastecimento de energia de uma cidade ou região. Caracterizando cada uma delas, tem-se:

Energia Solar: é a energia obtida através da radiação solar. A célula fotovoltaica é composta por material semicondutor, que transforma a energia solar em energia elétrica. Para garantir a eficiência do sistema, precisa haver incidência solar direta, gerando energia até mesmo em dias nublados. Os sistemas fotovoltaicos para geração

de energia elétrica podem funcionar conectados a redes, ou isolados (CRESESB, 2012).

Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

Energia Hídrica: energia cinética das massas de água dos rios, que fluem de altitudes elevadas para os mares. Sabendo-se que a energia hídrica deriva do aproveitamento da água para produção de eletricidade e em se tratando de energia com características renováveis, decorre da instalação de pequenas centrais hidroelétricas (PCHs) as chamadas mini-hídricas, que atualmente estão sendo mais utilizadas devido ao fato de causarem menor impacto ambiental e de serem mais facilmente introduzidas em infra-estruturas urbanas já existentes. A potência instalada dessas minihídricas é superior a 1MW e igual ou inferior a 30MW e, por serem empreendimentos que buscam atender demandas em áreas periféricas ao sistema de transmissão, as PCHs têm papel cada vez mais relevante. A tendência, com o passar do tempo, é a substituição das barragens hidroelétricas de grandes dimensões por aquelas de pequeno porte (PETROBRAS, 2006).

Energia Eólica: A energia eólica é gerada através da transformação de energia cinética contida nas massas de ar em movimento. A obtenção de energia ocorre através do giro de turbinas eólicas produzidas pelo vento (ANEEL, 2012). Grandes geradores eólicos com potências de vários megawatts usados em parques eólicos de eletricidade empregam turbinas de eixo horizontal, que ligados a geradores elétricos produzem energia elétrica. A indústria de energia eólica vem crescendo muito no Brasil, ocorrendo a implantação de vários parques eólicos para geração de energia elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2013).



Figura 6: Turbinas de Energia Eólica
Fonte: Pexels (2019)

A utilização desta fonte de energia para a geração de eletricidade, em escala comercial, teve início em 1992 e, por intermédio de conhecimentos da indústria aeronáutica, os equipamentos para geração eólica evoluíram rapidamente em termos de ideias e conceitos preliminares para produtos de alta tecnologia. Atualmente, a indústria de turbinas eólicas vem acumulando crescimentos anuais acima de 30% e movimentando cerca de dois bilhões de dólares em vendas por ano (PANORAMA, 2006).

Biomassa: é definida basicamente por todo recurso renovável derivado de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para geração de energia. No Brasil com o incentivo no uso de etanol nos carros, houve grande crescimento no setor da cana-de-açúcar. São consideradas também a queima de madeira de reflorestamento e bagaço da cana-de-açúcar para geração de energia em caldeiras (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

A renovação na biomassa ocorre no chamado ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de CO_2 na atmosfera. As plantas, por meio da fotossíntese, transformam o CO_2 e água nos hidratos de carbono, que compõe sua massa viva, liberando oxigênio. Desta forma, a utilização da biomassa, desde que não seja de maneira predatória, não altera a composição média da atmosfera ao longo do tempo.

2.4 PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA

Para que a placa solar possua um bom potencial de geração de energia existem algumas variáveis a serem analisadas e seguidas, tais como, a avaliação de sua eficiência e potência, inclinação ideal para determinada região, sombreamento feito por outros edifícios entre outros.

A posição do painel deve ser determinada pela latitude de seu local de instalação. No hemisfério Sul, este deve ser voltado para o Norte geográfico. Deve, também, ser considerada a altura solar, que especifica a localização do Sol no espaço. O Sol se nasce e se põe em diferentes localizações na Terra, e descreve trajetórias diferentes em cada dia do ano (a altura do Sol, por exemplo, é maior nos dias de verão, enquanto no inverno a trajetória descrita é mais baixa) (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Tabela 1: Ângulo de inclinação recomendado para o painel fotovoltaico de acordo com sua latitude

Latitude do local	Ângulo de inclinação recomendado
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: Adaptado de Villalva; Gazoli, 2012. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações – Sistemas Isolados e Conectados à Rede

O melhor aproveitamento da radiação solar direta ocorre quando os raios incidem perpendicularmente ao painel fotovoltaico. Sendo assim, o ideal seria que o painel acompanhasse o movimento do Sol, permitindo a maior geração possível durante o dia. No entanto, quando o ângulo deve ser fixado, é necessário escolher um que permita uma maior exposição do painel aos raios solares incidentes.

Porém, os painéis mais utilizados comercialmente são instalados em uma posição fixa e, portanto, o ângulo de inclinação do painel a ser determinado deve ser aquele que permita uma maior exposição do painel aos raios solares incidentes.

Desta forma, vale frisar que Cuiabá por se encontrar no Hemisfério Sul, e estar localizada entre a latitude 10-20, possui um ângulo ótimo de colocação da placa solar de 16°, correspondente exatamente à sua latitude.

Cronemberger et al. (2012) avaliaram 78 cidades brasileiras e verificaram que o ângulo ótimo de inclinação está compreendido entre a latitude e o valor excedido em até 9°. Sendo assim, Cuiabá, por se encontrar no Hemisfério Sul e estar localizada entre as latitudes de 10° e 20°, possui um ângulo ótimo de inclinação da placa solar de 16°, correspondente exatamente à sua latitude (SUNDATA, s.d.).

2.4.1 Conceitos Gerais

O painel solar é o principal componente de um sistema de energia solar e é formado por um conjunto de células fotovoltaicas que geram energia através da luz do sol. Isso ocorre em razão de um efeito chamado fotovoltaico que é o aparecimento de uma diferença de potencial nas extremidades de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental para este processo (SOLAR BRASIL, 2016).

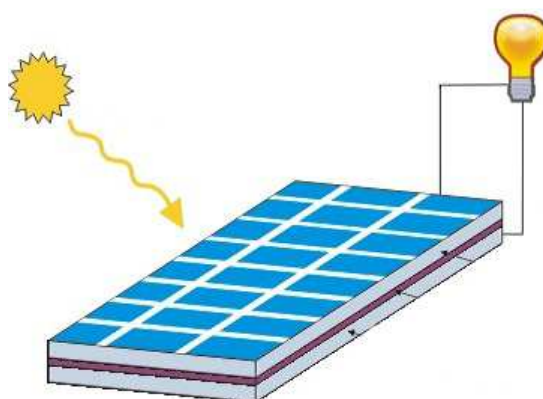


Figura 7: Geração de energia na placa solar
Fonte: Solar Brasil (2016)

A parte mais importante de um painel solar fotovoltaico (placa fotovoltaica) são as células fotovoltaicas de silício (Si). O silício é composto de átomos minúsculos que são carregadas com elétrons.

A concepção mais comum de painéis fotovoltaicos (placas fotovoltaicas) utiliza dois tipos diferentes de silício. Isto é para criar cargas negativas e positivas. Para criar uma carga negativa, o silício é combinado com boro, e para criar uma carga positiva, o silício é combinado com o fósforo (PORTAL SOLAR,2019).

Esta combinação cria mais elétrons no silício carregado positivamente e menos elétrons no silício carregado negativamente.

O silício carregado positivamente é “sandwichado” com o silício carregado negativamente, isso permite a célula de silício reagir com o sol produzindo energia elétrica.

Cada célula fotovoltaica é cuidadosamente colocada, plana, em série, uma após a outra. As células fotovoltaicas individuais são conectadas usando uma faixa condutora extremamente fina. Esta tira é tecida de cima para baixo de cada célula, de modo que todas as células fotovoltaicas do painel solar fotovoltaico estejam ligadas, assim criando um circuito (ELYSIA, 2019).

Essa série de células fotovoltaicas é então coberta com uma lâmina de vidro temperado, tratado com uma substância antiaderente e antirreflexo, emoldurado usando um quadro de alumínio.

Na parte de trás do painel fotovoltaico solar, há dois condutores provenientes de uma pequena caixa preta (caixa de junção). Esses cabos são usados para ligar os painéis solares fotovoltaicos (placas fotovoltaicas) em conjunto, formando uma série(s) de painéis fotovoltaicos. Esse conjunto de painéis fotovoltaicos é então conectado através de cabos de corrente contínua ao inversor solar (CUSTOMPOWER, 2018).

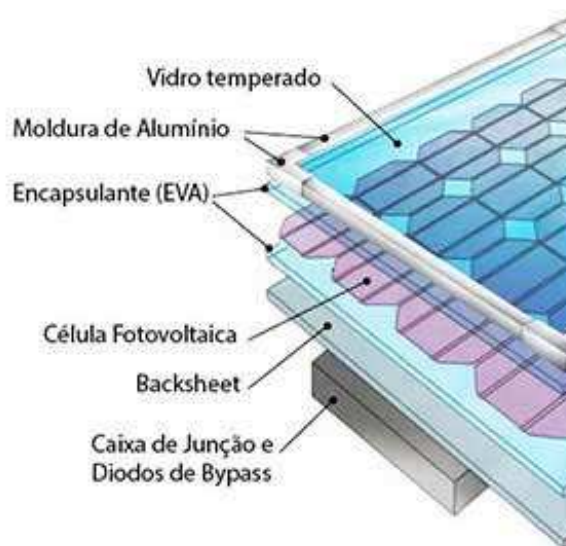


Figura 8: Construção do painel fotovoltaico

Fonte: Portal Solar (2019)

Quando os fótons atingem as células fotovoltaicas, eles fazem com que alguns dos elétrons que circundam os átomos se desprendam.



Figura 9: Funcionamento das células fotovoltaicas

Fonte: Portal Solar (2019)

Estes elétrons livres vão migrar, por intermédio da corrente eléctrica, para a parte da célula de silício que está com ausência de elétrons. O espaço vazio é preenchido por um novo elétron e o processo continua (Figura 10) (PORTAL SOLAR,2019).



Figura 10: Funcionamento das células fotovoltaicas
Fonte: Portal Solar (2019)

Durante o dia todo, os elétrons irão fluir em uma direção constantemente, deixando átomos e preenchendo lacunas em átomos diferentes. Este fluxo de elétrons cria uma corrente elétrica, ou o que nós chamamos de casualmente de Energia Solar Fotovoltaica.

Enquanto houver incidência de luz, os elétrons continuarão a se livrar dos átomos criando assim uma corrente elétrica (Figura 11) (PORTAL SOLAR, 2019).

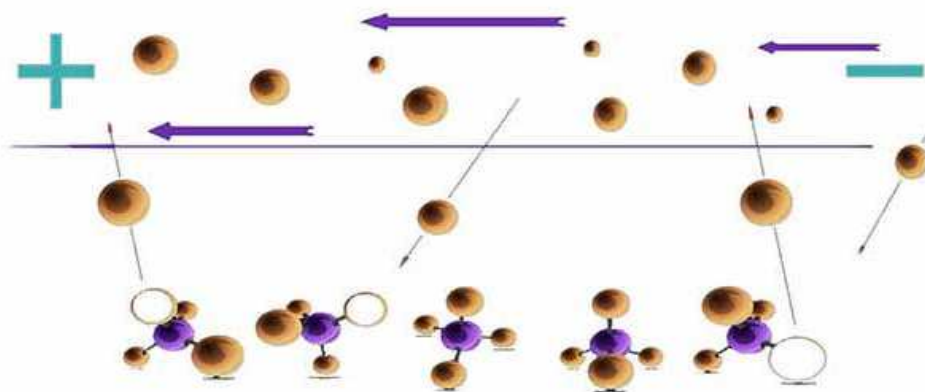


Figura 11: Funcionamento das células fotovoltaicas
Fonte: Portal Solar (2019)

Esta explicação é uma forma simples de mostrar o efeito fotovoltaico, na realidade existem outros materiais além do silício utilizados para a fabricação de células fotovoltaicas e outras formas de se fabricar uma placa solar.

A tecnologia explicada acima é a mais utilizada mundialmente, representando provavelmente 90% do mercado de painéis solares no mundo.

2.4.2 Tipos de Placas Solares

Observa-se no mercado 3 tipos de placa solar como pode ser visualizado na figura 12.

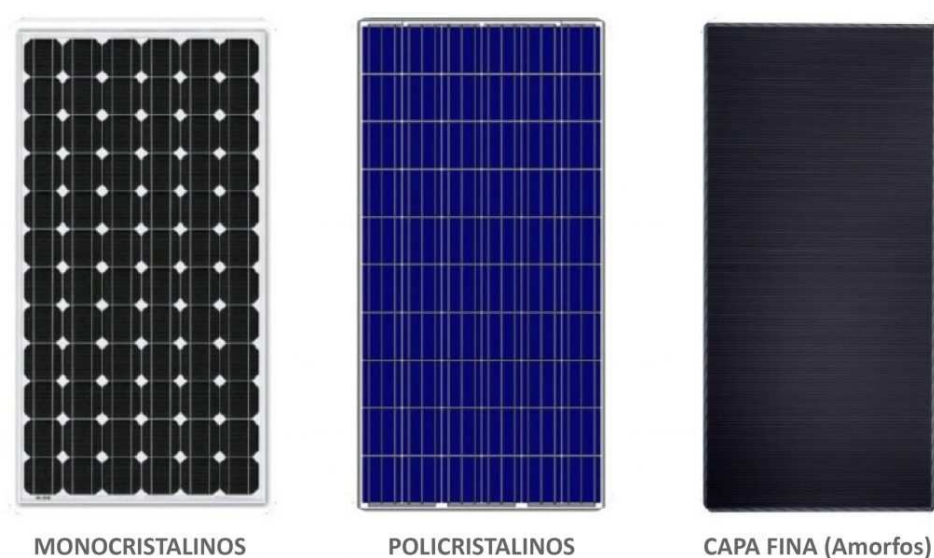


Figura 12: Placa Solar
Fonte: Pexels (2019)

Os painéis solares monocristalinos são mais eficientes e feitos de células monocristalinas de silício. O silício utilizado deve ter elevada pureza, o que envolve um processo complexo para fabricar os cristais únicos de cada célula (NEOSOLAR, 2011).

Geralmente, o painel solar monocristalino é a melhor tecnologia para entregar eficiência, medido pela potência em watts relativa ao tamanho do painel.

O painel monocristalino é feito a partir do crescimento de um único cristal. Esses cristais são geralmente em um formato oval, o corte realizado nos cristais

concede essa aparência arredondada sendo facilmente reconhecidos. As células de silício cortadas expõem os cantos dentro da estrutura (FULLTECH, 2018).

A estrutura de cristal monocristalino é uniforme, produzindo uma cor azul estável e sem marcas de grão, dando-lhe a melhor pureza e níveis mais elevados de eficiência dentre os disponíveis no mercado, resultando em uma performance máxima de 25%. Consequentemente, o seu valor é o mais elevado.



Figura 13: Paineis solares monocristalinos

Fonte: Enelx (2019)

Os painéis solares policristalinos são um pouco menos eficientes que os monocristalinos. Nestes painéis as células são formadas por diversos e não somente um cristal, dando uma aparência de vidro quebrado à célula. (NEOSOLAR, 2011)

O painel policristalino é fabricado com o derramamento de silício fundido em um molde. Por causa deste método de produção, a estrutura do cristal se forma de maneira imperfeita, criando limites onde a formação de cristais se quebra. Isso oferece ao silício policristalino sua aparência distinta, granulada, como um padrão semelhante a um tipo de pedra preciosa acentuado na superfície da placa, como pode ser visto na imagem acima.

Por causa das impurezas no cristal, o painel é menos eficiente quando comparado ao monocristalino (ENERGIA SOLAR, 2018). Entretanto, esse processo de manufatura utiliza menos energia e menos material, barateando bem mais o sistema solar e possuindo uma eficiência máxima de 20,4%.



Figura 14: Painel solar policristalino

Fonte: Enelx (2019)

Nos painéis de filme fino o material fotovoltaico é depositado diretamente sobre uma superfície, como metal ou vidro para formar o painel. São muito mais baratos e muito menos eficientes. A área disponível pode ser uma restrição, pois a baixa eficiência deve ser compensada por uma área maior (NEOSOLAR,2011).

A tecnologia do filme fino é a menos frequente no mercado, e mesmo tendo algumas desvantagens, é uma boa opção para projetos que possuem menos necessidade de energia e prezam pela leveza do material e portabilidade. Esse tipo de tecnologia produz uma eficiência máxima de 20.3%.

Células solares de filme fino são fabricadas através da deposição de camadas muito finas de material fotossensíveis em substratos de baixo custo como vidro, açoinoxidável ou plástico (RÜTHER, 2004).



Figura 15: Painel de filme fino

Fonte:Enel (2019)

3. ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Cuiabá (Figura 16), no estado de Mato Grosso, situada nas coordenadas $15^{\circ} 35' 46''$ S e $56^{\circ} 05' 48''$ W), possui o clima quente e dias majoritariamente ensolarados, com insolação de $5,364 \text{ kWh.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}$ no plano horizontal (SWERA, 2019).

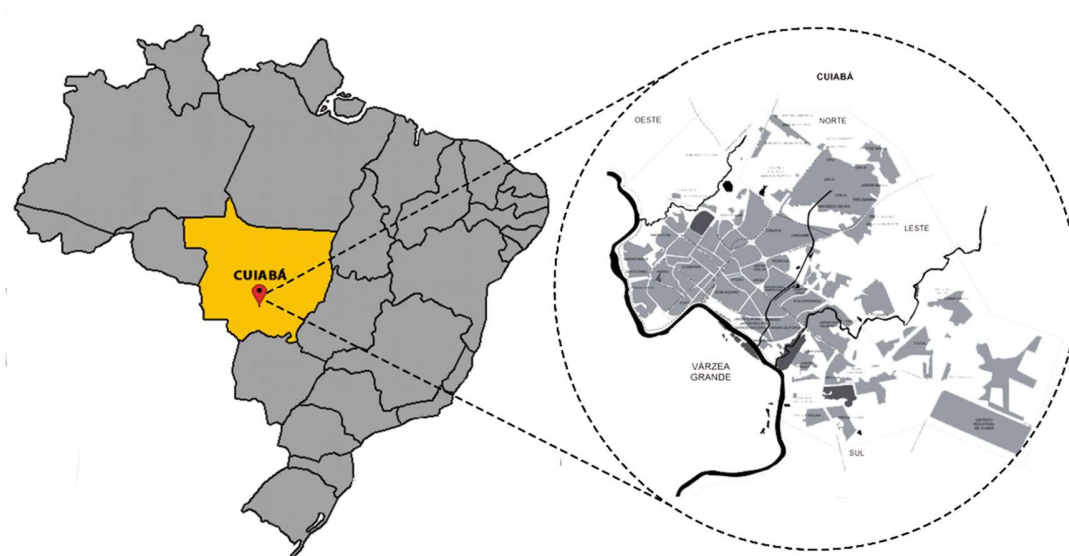


Figura 16: Mapa área de estudo
Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Para a *Análise do potencial fotovoltaico* a escolha foi pela estação fixa localizada no colégio Ibero Americano, região do Porto em Cuiabá-MT tendo em vista que está próximo da área que será modelada posteriormente, além disso, ela está em uma área no centro da cidade de Cuiabá (Figura 17,18 e 19).



Figura 18: Estação fixa, Porto
Fonte: Arquivo Pessoal (2019)



Figura 17: Perspectiva Real
Fonte: Google Earth (2019)



Figura 19: Imagem panorâmica, entorno
Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Já para a *Análise de insolação em escala microclimática*, a região escolhida foi a do centro norte, haja vista que lá se encontra grande parte dos comércios e é uma área institucional da cidade. Além disso, possui caráter misto de edificações quando se trata de altura.

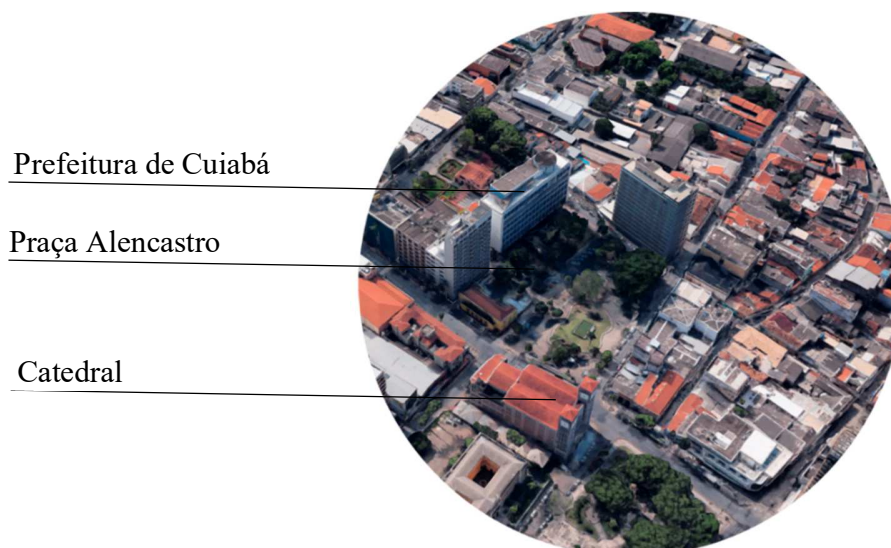


Figura 20: Perspectiva Real, Raio de Modelagem
Fonte: Google Earth (2019)



Figura 21: Av. Getúlio Vargas, Cuiabá MT
Fonte: Google Imagens (2019)

Área caracterizada por predominância de edifícios de caráter comercial e institucional. Levando em consideração os usos das edificações, vale ressaltar que estas demandam maior uso de energia elétrica devido a necessidade de climatização por ar condicionado durante todo o período comercial do dia.

O gabarito (alturas das edificações) no local é bastante variado, sendo os próprios edifícios existentes no local os agentes ativos de sombreamento em áreas adjacentes. Este foi um ponto importante para a escolha da área de estudo, em razão do sombreamento ser um fator muito importante na interferência no potencial de placas solares, reduzindo a radiação que chega diretamente nestas áreas.

Com a região de estudo delimitada, foi iniciado o processo de elevação dos volumes da malha urbana no software para BIM (*Building Information Modelling* – Modelagem de Informações de Construção) da *Autodesk Revit*, na sua versão estudante, fornecida para fins acadêmicos sem custos.

A distância entre as duas regiões estudadas é de aproximadamente 4km.

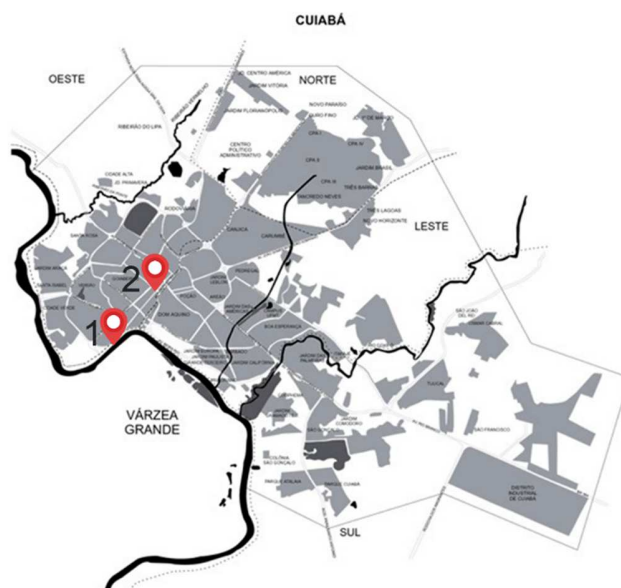


Figura 22: Distância regiões estudadas
 Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

3.1. CLIMA DE CUIABÁ

O clima de Cuiabá é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, identificado prioritariamente pela temperatura, apresentando duas estações bem definidas: uma seca, de abril a outubro, e outra chuvosa, de novembro a março, com médias entre 28 e 32 °C (ALVES;BIUDES, 2012).

Está a uma altitude de 165 metros acima do nível do mar, variando em sua área urbana de 146 a 250 metros. Situa-se na província geomorfológica denominada Depressão Cuiabana. Na área urbana e seu entorno, assinala sete unidades distintas segundo o modelo do relevo: canal fluvial, dique marginal, planície de inundação, área alagadiça, área aplainada, colinas e morrotes, que apresentam características próprias e comportamento específico quanto às diversas formas de uso e ocupação do solo (CUIABÁ, 2004).

Somente em 24 de dezembro de 1992 foi aprovada a Lei Complementar Municipal n.º 003, Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Cuiabá, que visa ordenar o crescimento da cidade, estabelecendo diretrizes para um desenvolvimento social integrado e ecologicamente sustentável.

Em consequência do crescimento urbano, e da substituição da paisagem natural pela construída, o meio urbano sofreu alterações climáticas significativas. O adensamento e crescimento muitas vezes contrário ao que foi idealizado pelos planejadores urbanos agravam a situação local criando assim ambientes inadequados ao conforto ambiental (FRANCO,2010).

A temperatura média máxima anual do ar em Cuiabá varia de 31°C a 34°C e a média mínima anual, varia entre 18 a 21°C. Enquanto a umidade relativa do ar tem a média anual de 70% no intervalo chuvoso, alcançando valores de 12% no intervalo de seca (MAITELLI, 2005).

A distribuição de chuvas é tipicamente de clima tropical, onde no verão tem o seu máximo e no inverno o clima é seco. Cerca de 70% das chuvas são acumuladas entre os meses de novembro e março, (MAITELLI, 1994).

As características regionais das chuvas são notoriamente tropicais, ou seja, máximas no verão e mínimas no inverno e se devem, quase que exclusivamente, aos

sistemas de circulação atmosférica, que ocorrem, principalmente, em número de três: sistemas de correntes perturbadas de Oeste, de Norte e de Sul (CAMPELO Jr. et al., 1991).

Dessa forma, durante a primavera-verão, as temperaturas mantêm-se constantemente elevadas, principalmente, na primavera, estação pela qual o sol passa pelos paralelos da região, dirigindo-se para o Trópico de Capricórnio e a estação chuvosa ainda não teve início (FRANCO,2010).

Um estudo de Duarte e Serra (2003), aponta as diferenças térmicas entre variados pontos localizados na cidade de Cuiabá, correlacionando fatores oriundos da ocupação humana e a cobertura de água e vegetação. Os referidos pontos foram tomados na perspectiva dos elementos apontados por Monteiro no S.C.U. (1976).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

4.1.1. Estação meteorológica automatizada

A estação Meteorológica é composta pelo Conjunto de Sensores Integrados modelo U30, da marca Onset Computer Corporation. O equipamento coleta os dados do tempo e envia-os para o console.

O wireless é alimentado por energia solar e envia os dados para o console via ondas de rádio de baixa intensidade.



Figura 23: Estação Fixa
Fonte: Onset (2019)

A estação fixa possui um pequeno painel solar 5W integrado que coleta dados de radiação, objeto deste estudo. Os dados registrados no console são transferidos para o computador através de um cabo USB.



Figura 24: Detalhe Paine Solar
Fonte: Onset (2019)

4.2 MÉTODOS

Primeiramente, realizou-se a análise estatística, feita por meio do Software SPSS Statistics, com dados de entrada advindos da estação Fixa do Porto, do programa de Pós Graduação em Física Ambiental, gerando uma Saída em Excel para análise dos dados.

O primeiro resultado foi obtido a partir da análise dos dados das estações. A partir da análise estatística por reamostragem bootstrap verificou-se a validade dos dados e posteriormente estes foram convertidos para $\text{kWh/m}^2.\text{dia}$.

4.2.1 Análise do potencial fotovoltaico

Os dados de radiação utilizados neste estudo foram obtidos por meio de uma estação fixa, como dito anteriormente, e pelo *Software SunData*. O período estudado é

de 4 anos (2014-2018), com intervalo de dados de 5 em 5 minutos durante as horas de sol do dia.

A tabela abaixo mostra quais os meses (marcados com um “x”) possuíam dados válidos, e os meses sem nenhuma marcação são os meses com muitas falhas e com dados desconsiderados.

Tabela 2: Meses com dados válidos

	2014	2015	2016	2017	2018
JAN		x	x		
FEV		x	x	x	
MAR			x	x	
ABR		x	x	x	x
MAI		x		x	x
JUN		x	x	x	x
JUL		x	x	x	x
AGO		x	x		x
SET	x	x	x		
OUT	x	x	x		
NOV	x	x	x		
DEZ	x	x	x		

Os dados meteorológicos foram analisados com o auxílio de uma planilha no software Excel. O primeiro passo foi identificar os dados de horários em que não se tem sol e consequentemente dados de radiação, estes dados eram identificados com o número “1” na planilha. Os erros identificados foram excluídos para a obtenção de um modelo estatístico de intervalo de confiança mais confiável.

Para fazer a verificação da qualidade dos dados da estação fixa, usou-se como referência os dados do programa SunData, tendo em vista que são dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em conformidade com as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial.

Por fim, para a análise do potencial do uso de energia solar, o primeiro passo foi a conversão dos valores obtidos na estação meteorológica (em W/m²), em irradiação solar (kWh/m².dia). A irradiação é o formato ideal para se dimensionar a quantidade de energia que um conjunto fotovoltaico pode gerar.

A conversão foi realizada em quatro etapas:

- a) Separação dos valores com irradiância maiores do que 0 (isto é, valores onde havia incidência de raios solares);
- b) Média mensal dos valores de irradiância maiores que 0;
- c) Determinação da quantidade média mensal de horas de incidência de raios solares;
- d) Determinação da irradiação, através do produto da irradiância mensal média pela quantidade de horas de incidência de raios solares. Os dados obtidos na estação meteorológica são referentes à incidência de raios solares no plano horizontal.

Para o dimensionamento da quantidade de energia que um conjunto fotovoltaico pode gerar, foram escolhidos dois módulos fotovoltaicos da Tabela de Eficiência Energética do Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO, todos de classificação A (mais eficiente). As características relevantes dos módulos escolhidos estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 : Características dos módulos fotovoltaicos escolhidos

MODULO 1		MODULO 2	
Material	Silício Policristalino	Material	Silício Policristalino
Área	1,94m ²	Área	1,64m ²
Potência	325W	Potência	275W
Eficiência	16,8%	Eficiência	16,7%

Fonte: Adaptado de INMETRO (2017)

Ambos painéis escolhidos para análise são da marca Canadian Solar e de silício policristalino, tendo em vista que em pesquisa pelas empresas que trabalham e comercializam placas solares foi observado que é uma das marcas mais difundidas no mercado atualmente. Sendo assim, os dois módulos foram chamados de Módulo 1 e Módulo 2.

Foram escolhidos módulos de silício policristalino, visto que a quantidade de silício residual gerado durante o processo de corte das células fotovoltaicas é menor em comparação com monocristalino. Além disso, os painéis policristalinos tendem a ser um pouco mais baratos que os painéis solares monocristalinos. A vida útil dos painéis policristalinos é maior que 30 anos sua garantia é de 25 anos.

Com as características dos módulos fotovoltaicos utilizados, é possível se dimensionar a energia gerada (E) com a irradiação obtida de acordo com os dados das estações, através da Equação 1.

$$E = \eta \cdot A \cdot H_{\text{glob,painel}} \quad (1)$$

Onde:

η – eficiência do módulo fotovoltaico, em valor percentual (0,12 para 12%, por ex.);

A – área ocupada pelo módulo, em m²; e

$H_{\text{glob,painel}}$ – irradiação solar global anual no nível do painel, em kWh/m²

Ao utilizar essa equação para o cálculo da energia, assume-se que não houve nenhum tipo de perda durante a geração. Onde η é a eficiência do modulo fotovoltaico, A é a área ocupada por este e HT a irradiação solar incidente sobre ele. O fator de capacidade é, então, calculado de acordo com a Equação 2.

$$FC = \frac{\text{Energia Gerada}}{P \times t} \quad (2)$$

Onde:

E – energia consumida ou gerada em determinado período de tempo, em MWh;

P – potência instalada da geração, em MW; e

t – tempo do período de medição da energia, em h

Na equação do fator de capacidade divide-se o que foi obtido anteriormente de energia gerada em MW pela potência multiplicada por 24 horas do dia, pelos dias do ano (365).

Sendo assim, são calculados fatores de capacidade para cada mês do ano utilizando as suas características médias, e a análise foi feita a partir do fator de capacidade médio anual.

4.1.2 Análise de insolação em escala microclimática

De acordo com Machete et al. (2018), para analisar mais precisamente a insolação que chega até às coberturas dos edifícios no meio urbano é necessário que se faça a avaliação por um modelo 3D do contexto urbano, que esteja apto a responder a diferentes escalas espaciais de análise, que pode ser aplicado desde uma determinada edificação até uma área urbana de interesse.

Neste trabalho, a concepção do modelo 3D se deu a partir do projeto bidimensional da malha urbana do município de Cuiabá-MT, disponibilizado pela prefeitura municipal.

A área selecionada corresponde à região central da cidade, onde há uma conglomeração de prédios públicos, em um raio de 200m, que coincide com o raio mínimo que define uma zona climática (STEWART; OKE, 2012).

A elevação foi feita em conjunto com a análise do mapa topográfico e dos dados geoespaciais, disponíveis em imagens de satélites e fotografias ao nível da rua, através do software Google Earth Pro 2018.

Por meio da ferramenta de extrusão do polígono dentro do software Revit, a representação volumétrica foi concebida com base nos atributos das edificações, como número de andares e de ambientes.

A modelagem da forma 3D dos edifícios permite a avaliação da exposição solar, assim como das sombras projetadas pelos sólidos (MACHETE et al., 2018).

A análise da exposição solar foi feita utilizando o plugin Insight Solar Analysis, distribuído pela Autodesk, em conjunto com o Revit. O Insight Solar Analysis permite

avaliar o desempenho e visualizar os impactos da radiação solar nas faces dos sólidos, pela quantificação da distribuição e intensidade da radiação incidente, considerando os efeitos de sombreamento de objetos adjacentes, como vegetação e edifícios no entorno.

Além disso, vale frisar que, tais dados podem ser validados devido ao georreferenciamento preciso entre a posição geográfica e o caminhar do sol na localidade realizado pelo *software* Autodesk Revit.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizada a análise estatística não-paramétrica para estimar os intervalos de confiança via reamostragem Bootstrap, sendo essa uma técnica ou método de simulação, que objetiva a obtenção de intervalos de confiança para as estimativas dos parâmetros de interesse, por reamostragem do conjunto de dados original.

Tabela 4 : Irradiação média diária e mensal nos planos horizontal e inclinado para Cuiabá-MT.

Mês	W/m ²	Média de horas de sol por dia	Irradiação	
			(kWh/m ² .dia)	(kWh/m ² .mês)
Janeiro	443,471	14	6,21	192,47
Fevereiro	484,051	13	6,29	176,19
Março	409,792	13	5,33	165,15
Abril	417,212	13	5,42	162,71
Maio	354,017	12	4,25	131,69
Junho	343,888	12	4,13	123,80
Julho	389,781	12	4,68	145,00
Agosto	437,559	12	5,25	162,77
Setembro	431,221	12	5,17	155,24
Outubro	468,640	13	6,09	188,86
Novembro	481,578	14	6,74	202,26
Dezembro	480,166	14	6,72	208,39

Fonte: Estação Fixa PGFA - Porto (2014-2018)

Os resultados obtidos eram os esperados nesta validação. Com máxima irradiação de 6,72 kWh/m².dia e 6,74kWh/m².dia nos meses de novembro e dezembro e mínima de 4,13 kWh/m².dia no mês de Junho.

5.2 ANÁLISE DO POTENCIAL FOTOVOLTAICO

O primeiro resultado obtido através da análise do potencial solar, isto é, a conversão da Irradiância (kJ/m²) em Irradiação (kWh/m².dia), está descrito na Tabela 5.

Tabela 5 : Irradiação média diária e mensal para Cuiabá-MT.

Mês	Dados Estação Fixa (Porto)	
	Irradiação	
	(kWh/m ² .dia)	(kWh/m ² .mês)
Janeiro	6,20	192,46
Fevereiro	6,29	176,19
Março	5,32	165,14
Abril	5,42	162,71
Maio	4,24	131,69
Junho	4,12	123,79
Julho	4,67	144,99
Agosto	5,25	162,77
Setembro	5,17	155,23
Outubro	6,09	188,86
Novembro	6,74	202,26
Dezembro	6,72	208,39

Fonte: Estação Fixa PGFA - Porto (2014-2018)

Obteve-se então o intervalo de confiança como visto na tabela 4, sendo este dentro dos padrões observados quando comparado com o Atlas Brasileiro de Energia Solar.

Após isto, utilizou-se o programa *SunData*, nele foram encontrados os valores de irradiação média diária no plano horizontal e no plano inclinado a 16°, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 : Irradiação média diária e mensal nos planos horizontal e inclinado para Cuiabá-MT.

Mês	Plano Horizontal		Plano Inclinado 16°	
	Irradiação		Irradiação	
	(kWh/m ² .dia)	(kWh/m ² .mês)	(kWh/m ² .dia)	(kWh/m ² .mês)
Janeiro	5,44	168,64	5,04	156,24
Fevereiro	5,29	148,12	5,11	143,08
Março	5,14	159,34	5,21	161,51
Abril	4,90	147,00	5,28	158,40
Maio	4,45	137,95	5,03	155,93
Junho	4,42	132,60	5,16	154,80
Julho	4,57	141,67	5,28	163,68
Agosto	5,43	168,33	6,01	186,31
Setembro	5,10	153,00	5,31	159,30
Outubro	5,28	163,68	5,17	160,27
Novembro	5,53	165,90	5,20	156,00
Dezembro	5,65	175,15	5,21	161,51

Com relação à irradiação média diária e mensal nos planos horizontal e inclinado obtidos pelo programa *SunData* percebe-se que os valores são compatíveis com os observados na estação meteorológica fixa, ainda com diferenças padrões como meses de menor irradiação (Junho) com 4,42 kWh/m².dia e de maior irradiação (Dezembro) com 5,65 kWh/m².dia, no plano horizontal.

Interessante notar que quando se trata do plano inclinado a 16° percebe-se um padrão entre os dados, ou seja, existe uma menor amplitude nos valores de irradiação quando a placa se apresenta na inclinação dita como “ideal” para a região estudada.

Apesar da irradiação solar diária média calculada a partir dos dados meteorológicos e dos valores obtidos através do programa *SunData* apresentarem um bom valor, já que usa como referência os dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017), esses valores não são suficientes para mostrar a viabilidade da utilização das placas solares na cidade de Cuiabá-MT. Foram calculados, então, fatores de capacidade para os dois módulos de placas solares caracterizados anteriormente.

A partir dos dados de irradiação obteve-se os valores de energia gerada e do fator de capacidade médio anual para a cidade de Cuiabá-MT, usando como referência os três conjuntos de dados: a estação fixa PGFA – Porto (Tabela 7) e os do programa

Sundata, nos planos horizontal (Tabela 8) e inclinado a 16° (Tabela 9), para os módulos 1 e 2 escolhidos a priori.

Tabela 7 : Fator de capacidade Estação Fixa - Porto

Mês	Módulo 1		Módulo 2	
	Energia gerada (MW)	Fator de capacidade	Energia gerada (MW)	Fator de capacidade
Janeiro	0,63	22,0%	0,53	21,9%
Fevereiro	0,57	20,2%	0,48	20,0%
Março	0,54	18,9%	0,45	18,8%
Abril	0,53	18,6%	0,45	18,5%
Maio	0,43	15,1%	0,36	15,0%
Junho	0,40	14,2%	0,34	14,1%
Julho	0,47	16,6%	0,40	16,5%
Agosto	0,53	18,6%	0,45	18,5%
Setembro	0,51	17,8%	0,43	17,6%
Outubro	0,62	21,6%	0,52	21,5%
Novembro	0,66	23,2%	0,55	23,0%
Dezembro	0,68	23,9%	0,57	23,7%
	FC Médio	19,22%	FC Médio	19,09%

Para os dados referentes à estação fixa (Tabela 7), observa-se que no mês de junho, o menor em irradiação, apresenta fator de capacidade de 14,2% para o módulo 1 e 14,1% para o módulo 2, valor que pode ser considerado semelhante para os dois modelos de placa solar. No mês de dezembro, como era de se esperar, nota-se os maiores fatores de capacidade com 23,9% para o módulo 1 e com 23,7% para o módulo 2.

Além disso, tem-se fatores de capacidade médio anual para as duas placas de 19,22% para o módulo 1 e de 19,09% para o módulo 2, o que é de grande representatividade quando se considera avaliações da Empresa de pesquisa energética e o Ministério de Minas e Energia brasileiro que apontam valores entre 14,4 e 16,2% como os fatores de capacidade médio das áreas de maior irradiação solar do Brasil.

Tabela 8 : Fator de capacidade no Plano Horizontal

Mês	Módulo 1		Módulo 2	
	Energia gerada (MW)	Fator de capacidade	Energia gerada (MW)	Fator de capacidade
Janeiro	0,40	19,3%	0,42	19,2%
Fevereiro	0,35	16,9%	0,37	16,9%
Março	0,37	18,2%	0,40	18,2%
Abril	0,35	16,8%	0,37	16,8%
Maio	0,32	15,8%	0,34	15,7%
Junho	0,31	15,1%	0,33	15,1%
Julho	0,33	16,2%	0,35	16,1%
Agosto	0,40	19,2%	0,42	19,2%
Setembro	0,36	17,5%	0,38	17,4%
Outubro	0,38	18,7%	0,41	18,7%
Novembro	0,39	18,9%	0,41	18,9%
Dezembro	0,41	20,0%	0,44	20,0%
	FC Médio	17,71%	FC Médio	17,68%

Para os dados advindos do programa *Sundata*, no plano horizontal, nota-se o padrão normal entre os meses, com 15,1% para ambos os módulos em junho e 20% para ambos os módulos em dezembro. Com 17,71 e 17,68% de média anual. Valores diferentes, porém, nada muito considerável quando comparado com a estação fixa. Os dados ainda se encontram dentro do satisfatório, entre as avaliações de desempenho dos estados brasileiros.

Tabela 9 : Fator de capacidade no Plano Inclinado a 16°

Mês	Módulo 1		Módulo 2	
	Energia gerada (MW)	Fator de capacidade	Energia gerada (MW)	Fator de capacidade
Janeiro	0,37	17,8%	0,39	17,8%
Fevereiro	0,34	16,3%	0,36	16,3%
Março	0,38	18,4%	0,40	18,4%
Abril	0,37	18,1%	0,40	18,0%
Maio	0,37	17,8%	0,39	17,8%
Junho	0,36	17,7%	0,39	17,6%
Julho	0,38	18,7%	0,41	18,7%
Agosto	0,44	21,3%	0,46	21,2%
Setembro	0,37	18,2%	0,40	18,2%
Outubro	0,38	18,3%	0,40	18,3%
Novembro	0,37	17,8%	0,39	17,8%
Dezembro	0,38	18,4%	0,40	18,4%
	FC Médio	18,24%	FC Médio	18,20%

Por fim, no plano inclinado à 16°, obteve-se agosto como o mês de maior irradiância e menos amplitude nos valores entre os meses. Uma das razões para tal incidente pode ser a baixa nebulosidade do período seco que começa em agosto.

Além disso, quando se observa o diferencial médio entre o plano horizontal e o plano inclinado é possível notar que mesmo com menor amplitude entre os meses o plano inclinado ainda apresenta fator de capacidade médio mais satisfatório quando comparado com o plano horizontal. Diferença de 1% entre os dois, nas mesmas condições de medida.

A diferença entre os fatores de capacidade calculados para as duas situações é ilustrada na Figura 25.

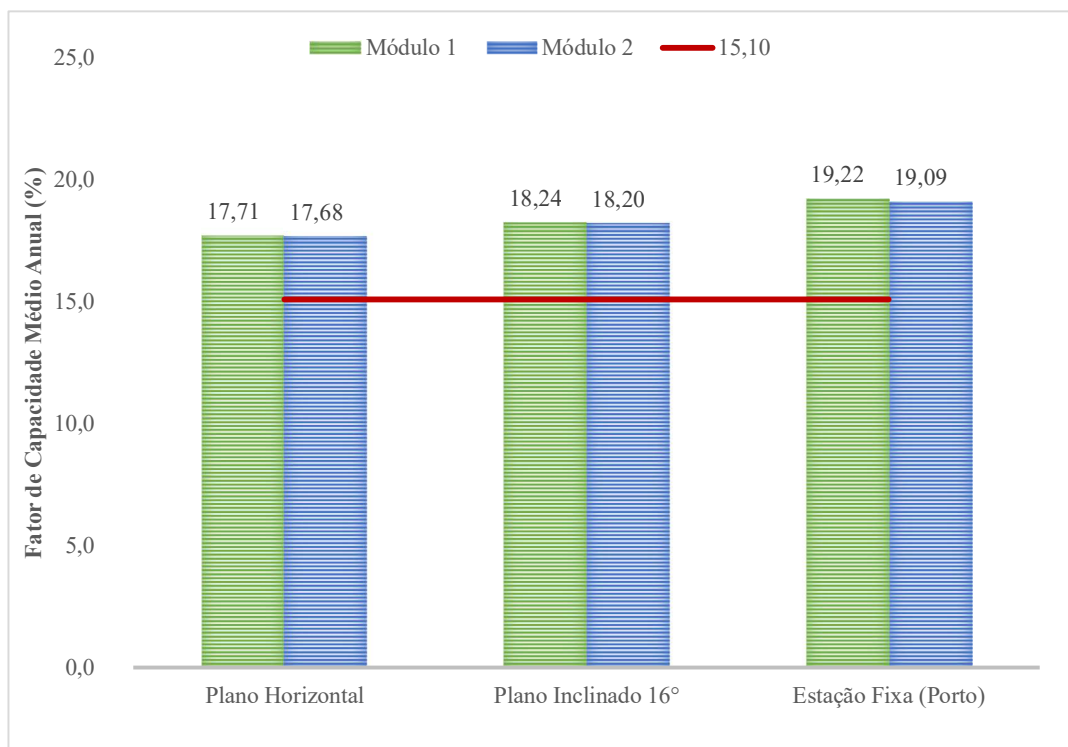


Figura 25: Comparativo Fatores de Capacidade Médios Anuais

Em uma nota técnica lançada pela Empresa de Pesquisa Energética em 2012, chamada, Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira, algumas simulações quanto a viabilidade e a competitividade da geração solar na geração distribuída (isto é, de pequeno porte, em residências ou comércios) foram realizadas.

Considerando um painel solar com Fator de Capacidade de 15,1%, essa nota técnica concluiu que a sua utilização apresenta viabilidade econômica quando comparada à energia fornecida pela concessionária local considerando uma vida útil do painel fotovoltaico de 20 anos, salvo em situações onde a tarifa de energia elétrica da concessionária local apresenta valores elevados, o que não é o caso do Mato Grosso, que desde 2016 apresenta até mesmo incentivos de redução de ICMS para fomentar a utilização de energias renováveis, principalmente a energia solar.

A nota técnica afirma, ainda, que aplicações com fatores de capacidade maiores que os 15,1% se apresentam ainda mais competitivas.

Como o menor valor observado de acordo com as placas adotadas foi exatamente de 15,1%, pode-se concluir que a utilização dos painéis solares fotovoltaicos na produção de energia elétrica se mostra viável para a irradiação solar medida na cidade de Cuiabá-MT.

Além disso, os fatores de capacidade médios reforçam ainda mais esta viabilidade, colocando Cuiabá como área de grande potencial para a utilização desta fonte de energia renovável.

Outro ponto interessante é verificar qual o maior potencial de utilização da placa solar para os meses e horários analisados anteriormente.

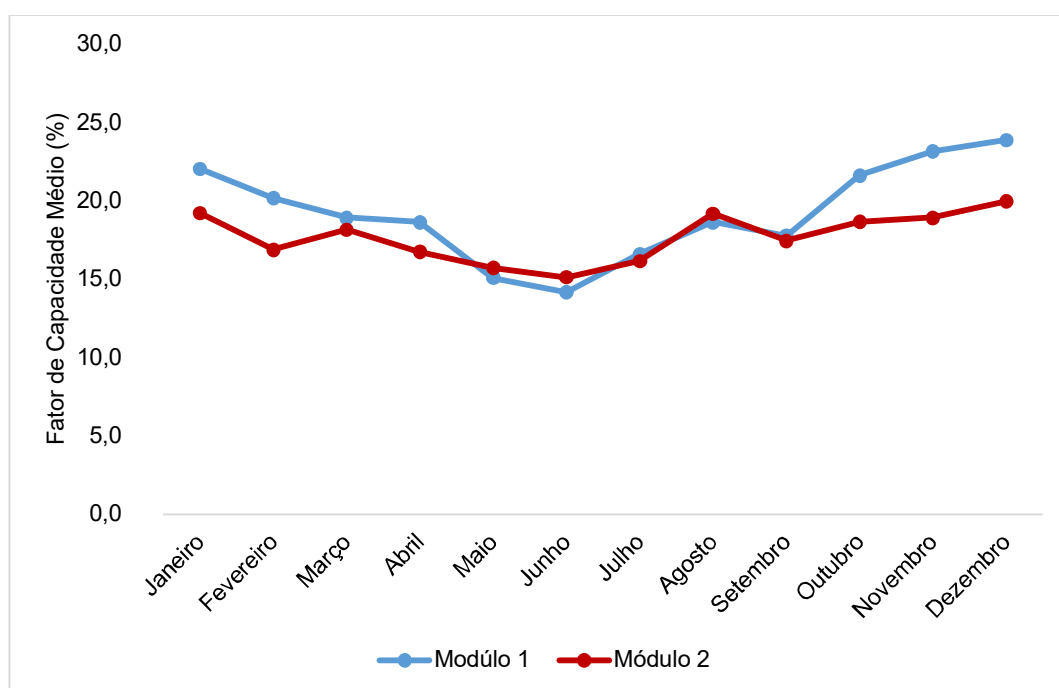


Figura 26: Comparativo Fatores de Capacidade Médios por mês

Percebe-se assim, como mostra a Figura 26 que o mês de maior potencial é dezembro com o fator de capacidade médio de 23,9% para o módulo 1 e de 20% para

o módulo 2, mostra o padrão esperado de acordo com as relações astronômicas para cada mês, com máximos durante o verão e mínimos durante o inverno.

5.3. ANÁLISE DE INSOLAÇÃO EM ESCALA MICROCLIMÁTICA

Segundo o Pereira et al.(2017) a demanda crescente de energia elétrica, representada pelo uso crescente de aparelhos de ar-condicionado, vem alterando o perfil de consumo e demanda no Brasil. Ano a ano os valores máximos de demanda são registrados nos meses de verão e no horário entre 12 e 15 horas, com excelente coincidência com a disponibilidade de radiação solar para a geração fotovoltaica.

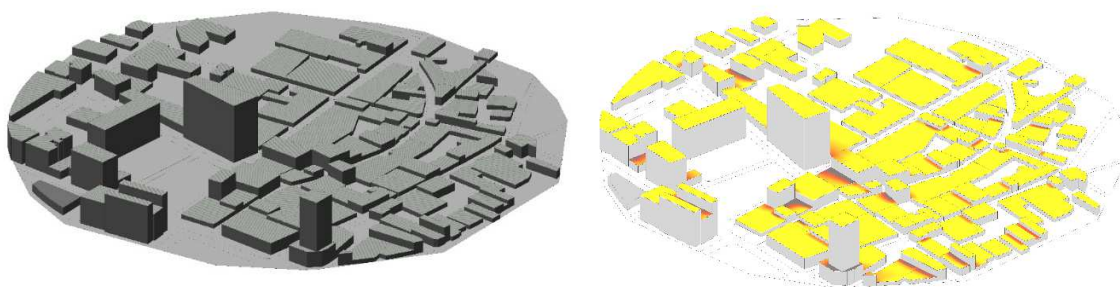


Figura 27: Modelo 3D para estudo
Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

De acordo com os dados obtidos com o *plugin* Insight Analysis, a maior parte da área de estudo apresenta níveis de irradiação na ordem de 1.500 a 1.655 kWh/m².ano, que é um potencial satisfatório quando se considera que a região do Brasil com maior incidência de irradiação recebe cerca de 2.070 kWh/m².ano (PEREIRA *et al.* 2017).

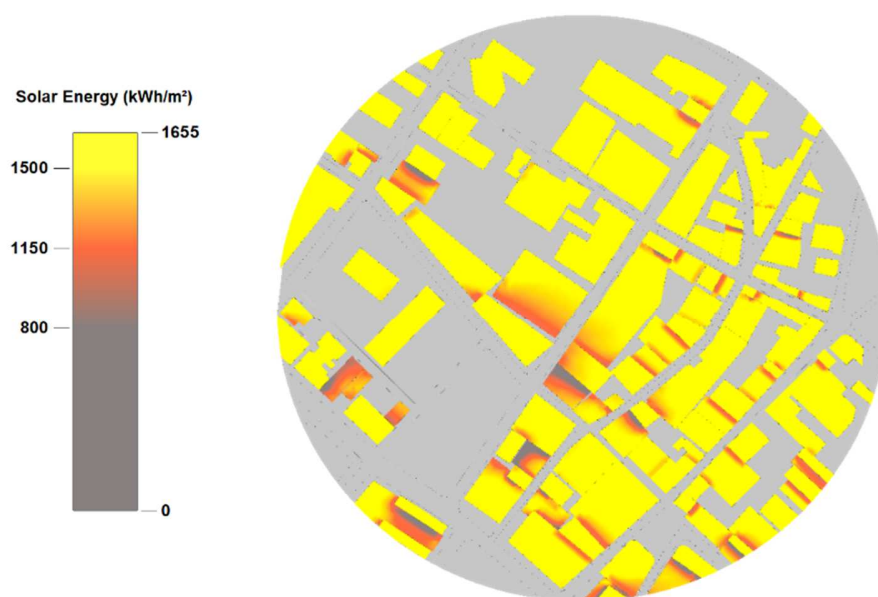


Figura 28: Coberturas e Potenciais Fotovoltaicos

Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Com raio de 200 metros e uma área total de 125.600 m², seguindo a estimativa obtida de coberturas e potencial fotovoltaico, foram encontrados cerca de 62.000 m² de coberturas de edificações, resultando uma irradiação recebida de aproximadamente 100.000.000 kWh na região estudada anualmente.



Figura 29: Gabarito edificações

Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Outro ponto interessante a ser discutido é que mesmo a região tendo o caráter misto das edificações, sua topografia auxilia o sombreamento, dos edifícios maiores sobre os menores, não ser um impeditivo para a implantação do sistema com bom potencial.

Além disso, vale destacar que a região é altamente adensada, porém com ruas estreitas e pouca cobertura arbórea, tudo isso em conjunto reduz o sombreamento e aumenta as temperaturas na região o que a tornam uma área uma ilha de calor dentro da cidade. Sendo assim, a implantação de energia solar fotovoltaica favoreceria à região em conjunto com medidas de aumento de arborização nas ruas.

6. CONCLUSÕES

Este estudo identificou o potencial existente da utilização da energia solar dentro do tecido urbano da cidade de Cuiabá - MT para a produção de energia elétrica, utilizando-se de dados advindos de uma estação fixa do Programa de pós-graduação em física ambiental e do programa *SunData* – CRESESB.

A partir de estudos já elaborados por Amarante et al. (2001) e Pereira et al. (2017), era esperado, em linhas gerais, que a energia solar apresentasse grande potencial de utilização nesta região e isso foi realmente observado.

O potencial de implantação do sistema na área urbana de cidade de Cuiabá é satisfatório tendo em vista que o fator de capacidade médio ultrapassa o valor mínimo considerado pela Empresa de Pesquisa Energética.

Além disso, o estudo do modelo 3D, realizado na região do centro da cidade, observou mais uma vez a condição ótima de sua aplicação, principalmente naquela área, com caráter misto das edificações, mas ainda assim permanecendo com bom potencial de aplicação da tecnologia.

Porém, no Brasil e, principalmente, na região Centro-Oeste, ainda se necessitam de mais estudos e de uma ampla discussão envolvendo governos, concessionárias, universidades, centros de pesquisa, etc., na razão de definir uma estratégia a longo

prazo para a energia solar fotovoltaica conectada à rede do país, tendo em vista que existe uma demanda energética crescente e uma disponibilidade de radiação solar em níveis ótimos para aproveitar esta tecnologia no estado e no país.

Espera-se que com os resultados desta pesquisa, os estudos de clima urbano que deem enfoque para a energia renovável fotovoltaica no estado de Mato Grosso sejam enriquecido, atentando para a importância da análise de radiação e a influência na eficiência da placa solar, de forma a mitigar o rigor climático imposto pelo clima de cidades, ainda em desenvolvimento, como Cuiabá.

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a. Estudo mais aprofundado levando em consideração o aquecimento da placa solar e a perda de sua eficiência.
- b. Estudo que mostre a influência da utilização da placa solar e a diminuição da temperatura dentro da área urbana da cidade de Cuiabá.
- c. Estudo de modelagem de outras áreas dentro da cidade, mostrando quais são as áreas de maior potencial para a utilização da placa solar.

7. BIBLIOGRAFIAS

7.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Energia solar deve crescer 44% no Brasil em 2019 com impulso de geração distribuída. 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-deve-crescer-44-no-brasil-em-2019-com-impulso-de-geracao-distribuida.html>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Padrões da temperatura do ar e da umidade relativa: estudo de caso no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso. Boletim de Geografia, Maringá, v. 30, n. 3, p. 5 - 16, 2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Capacidade de Geração no Brasil. BIG - Banco de Informações de Geração. 2017. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 16 de maio 2019.

ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA, A. R.; SENTELHAS P.C. Agrometeorologia Fundamentos e Aplicações Práticas. 1. ed., Guaíba, RS: Livraria e Editora Agropecuaria Ltda., 2002, 475p.

BABATUNDE, A. A.; ABBASOGLU, S.; SENOL, M. Analysis of the impact of dust, tilt angle and orientation on performance of PV Plants. Renewable and Sustainable Energy. Reviews 90. 2018. 1017–1026.

BRASIL. ANEEL. Resolução Normativa nº 622 de 19 de agosto de 2014. Dispõe sobre as garantias financeiras e a efetivação de registros de contratos de compra e venda de

energia elétrica, associados à comercialização no âmbito da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2014622.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2019.

CAMARGO, F. Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas. Brasília: WWF-Brasil. 2015.

CAMPELO, JR. J. H.; CASEIRO, F. T.; FILHO, N. P.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZANPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In. ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 7, 1991, Londrina, Anais. Londrina, v.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA. 2019. Potencial energético solar. SunData - Base de dados sobre radiação solar no Brasil. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: jan. 2019.

CRONEMBERGER, J.; MARTÍN, E. C.; SÁNCHEZ, S. V. Assessing the solar irradiation potential for solar photovoltaic applications in buildings at low latitudes – Making the case for Brazil. *Energy and Buildings*, v. 55, p. 264-272, 2012.

CRUZ, T.B. Análise do potencial de inserção de energia solar térmica para aquecimento de água em residências unifamiliares no Brasil. 2016. 173 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CUSTOMPOWER. Como funciona um painel fotovoltaico. Disponível em: <<http://custompower.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 7-20, abr./jun. 2003.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE. NOTA TÉCNICA. Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. Nota Técnica da EPE, Rio de Janeiro, 2012.

ELYSIA. Como funciona um painel fotovoltaico. Disponível em: <<https://www.elysia.com.br/como-funciona-um-painel-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

FERNANDES, T.; MUSIS, C. R.; NOVAIS, J. W. Z.; MARÇAL, S. F. Detecções de insolação total como fonte de energia potencial renovável no estado de Mato Grosso, Brasil. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2015, Fortaleza. Anais... Fortaleza: CONFEA, 2011. p. 1-4.

FRANCO, F. M. Configuração urbana e sua interferência no microclima local: estudo de caso no bairro do Porto em Cuiabá-MT Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2010.

GIVONI, B. *Urban Design in Different Climates*. Geneva: WMO Technical Document n.346, 1989.

GOMES, P.C. Energia solar: utilização como fonte de energia alternativa. *Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense*. v. 2, n. 1, p. 159-163, 2012. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/viewFile/24>

11/1299>. Acesso em: 16 mar. 2019.

GTES. Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CRESESB/CEPEL, 2004. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2019.

HARTNER, M. et al. East to west – The optimal tilt angle and orientation of photovoltaic panels from an electricity system perspective. *Applied Energy* 160. 2015. 94–107. INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Tabelas de consumo/eficiência energética: Programa Brasileiro de Etiquetagem. Acesso em 10 de Janeiro de 2019.

IGNATIOS, M. Um governo auto-suficiente. *Gazeta Mercantil*, 11 maio 2006, p. A-3.

KANTERS, J. HORVAT, M. Solar energy as a design parameter in urban planning. *Energy Procedia*, v. 30, p. 1143-1152, 2012.

KATZSCHNER, L. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1997, Salvador. Anais. Salvador: FAUUFBA/LACAM-ANTAC, 1997, p.49-58.

LAYRARGUES, P. P. Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: evolução de um conceito?. *Proposta*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 71, p. 1-5, 1997.

LEÃO, E.B. Carta Bioclimática de Cuiabá. 2007.147 f. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

LOPES, R. J. C. Efeito do sombreamento nos painéis fotovoltaicos. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.

LONGO, M. Análise da produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos ligados a rede instalados na cidade de Lajeado/RS. 91p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.

LANDSBERG, H. E. The urban climate. Nova York: Academic Press, 1981.

MAITELLI, G. T. Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT. Tese (Doutorado) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. (1994).

MAITELLI, G. T. Interações Atmosfera-Superfície. In: Moreno G.; Higa T. C. S. organizadores. Geografia de Mato Grosso: território, sociedade e ambiente. Entrelinhas: Cuiabá. (2005), pp. 1-296

MENDONÇA, F. O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequeno proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR. Tese (Doutorado em Geografia) Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MINELLA, F. O.; KRUGER, E. L. Impactos da geometria urbana no microclima, Curitiba, Disponível em www.utfpr.edu.br/curitiba/estruturauniversitaria/diretorias/dirppg/eventos/mopp/2010/artigos/ppgte/MOPP2010PPGTEFOMinella.pdf, acessado em abril, 2016.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. In: MONTEIRO, C. A. de F; MENDONÇA, F. (Org.) et al. Clima urbano. São Paulo: Contexto, p. 9-67, 2003.

MASCARÓ, L. R. de. *Ambiência Urbana*. 1. ed. Porto Alegre: Sagra – D.C. Luzzatto, 1996.

MOHAJERI, N.; UPADHYAY, G.; GUDMUNDSSON, A.; ASSOULINE, D.; KÄMPF, J.; SCARTEZZINI, J. L. Effects of urban compactness on solar energy potential. *Renewable Energy*, v. 93, p. 469-482, 2016.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (Org.). *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto. 2003.

MORGANTI, M.; SALVATI, A.; COCH, H.; CECERE, C. Urban morphology indicators for solar energy analysis. *Energy Procedia*, v. 134, p. 807-814, 2017. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.533.

MPPSOLAR. As Melhores Marcas de Painéis Solares. S.d. Disponível em: <<https://www.mpptsolar.com/pt/melhores-marcas-de-paineis-solares.html>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

NEOSOLAR. Três tipos básicos de painel solar. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/tres-tipos-basicos-de-painel-solar>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

OECD. O que é Desenvolvimento Sustentável. *Dicionário Ambiental*. Rio de Janeiro, ago. 2014. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28588-o-que-e-desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em: 20 Set, 2019.

ONS. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Sobre o SIN: O que é o SIN. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

OKE, T. R. Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites. In: Air Pollution Modeling and its Application XVII, Borrego, C. and A.-L. Norman, (eds.), Springer, 2004.

PACHECO, F. 2006. Energias Renováveis: breves conceitos. Economia em destaque. Disponível em: http://ieham.org/html/docs/ConceitosEnergias_renov%Elveis.pdf. Acesso em: 20 set 2019.

PANORAMA da energia eólica. Disponível em:< [www. eolica.com.br](http://www.eolica.com.br).> Acesso em: 24 out. 2006.

PEREIRA, B,E. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2 ed. São José dos Campos, São Paulo. 2017.

PILI, S.; DESOGUS, G.; MELIS, D. A GIS tool for the calculation of solar irradiation on buildings at the urban scale, based on Italian standards. Energy and Buildings, p. 629-646, 2018.

PORTALSOLAR. Como Funciona o Pannel Solar Fotovoltaico – Placas Fotovoltaicas. Disponível em:<<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-pannel-solar-fotovoltaico.html>> . Acesso em: : 12 jan. 2019.

RAMOS, C.; RUIZ, E. T. N. F.; BICALHO, F. W.; BARBOSA, J. M.; BARROS, L. V.; RABASSA, M. M. M. Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil. Brasília: Sebrae, 2018.

REDWEIK, P.; CATITA, C.; BRITO, M. Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. Solar Energy, v. 97, p. 332-341, 2013.

REN21 - Renewables 2016 - Global Status Report. Disponível em <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR2016_Full_Report_lowres.pdf>. Acesso em: 20 Set, 2019.

SARRALDE, J. J.; QUINN, D. J.; WIESMANN, D.; STEEMERS, K. Solar energy and urban morphology: Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. *Renewable Energy*, v. 73, p. 10-17, 2015.

SEDEC-MT. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico – Governo de Mato Grosso. Investimento em energia renovável cresce em Mato Grosso. 2017. Disponível em: <<http://www.sedec.mt.gov.br/-/5959041-investimento-em-energia-renovavel-cresce-em-mato-grosso>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

SOLARBRASIL. Energia solar fotovoltaica: Conceitos. Disponível em: <<http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/77-energia-solar-fotovoltaica-conceitos>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.
SWERA. Solar and Wind Energy Resource Assessment Programme, UNEP. Disponível em: <<https://maps.nrel.gov>>. Acesso em: 18 mar. 2019

TIEPOLO, G. M. Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná. 2015. 288p. (Tese doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – PPGEPS. Curitiba, 2015.

TIEPOLO, G. M., URBANETZ, J., PEREIRA, E. B., PEREIRA, S. V., ALVES, A. R. Energia solar no Estado do Paraná - Potencial, barreiras e políticas públicas. X CBPE, Gramado, 2016.

VILLALVA, G. M. et al. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicação. São Paulo: Érica, 2013.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações - Sistemas Isolados e Conectados à Rede. 1ª. Edição. São Paulo: Editora Érica Ltda, ISBN: 978-85-365-0416-2, 2012

ZILLES, R. Geração distribuída e sistemas fotovoltaicos conectados à rede. 2011, Disponível em: <
http://www.cogen.com.br/workshop/2011/Geracao_Distribuida_Sist_Fotovoltaicos_29032011.pdf> Acesso em: 20 Set, 2019.

7.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

AMADO, M; POGGI, F. Solar energy integration in urban planning: GUUD model. Energy Procedia, p. 277-284. 2015.

GAGNON, P; MARGOLIS, R; MELIUS, J; CALEB, P; ELMORE, R. Estimating rooftop solar technical potential across the US using a combination of GIS-based methods, lidar data, and statistical modeling. 10p. Environmental Research Letters. 2018.

LACERDA, R.D.K. Parâmetros que influenciam na geração de energia solar fotovoltaica. 45p. Monografia (Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande. 2014.

MELO, G.E. Geração Solar Fotovoltaica: estimativa do fator de sombreamento e irradiação em modelos tridimensionais de edificações. 130p, Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MENDES, G.S. Análise de agrupamentos de séries climatológicas de temperatura e amplitude térmica em Cuiabá. 71p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso. 2018.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E B; ECHER, M. P. S, 2004. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário – o Projeto Swera. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p. 145-159

MACHETE, R; FALCÃO, P.A; GOMES, G.M; RODRIGUES, M.A. The use of 3D GIS to analyse the influence of urban context on buildings' solar energy potential. Energy & Buildings, 27p. 2018.

NOBREGA, S.B; MELO, F.H.R; GONÇALVES, P.C.M; LIMA, G.W. Estudo comparativo entre dados de radiação solar estimados via satélite e medidos por estações meteorológicas no sertão da Paraíba. 9p. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado. 2018.

NDC. Contribuição do Brasil às Nações Unidas - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). 2016. Disponível em <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf>. Acesso em: 20 Set, 2019.

PEREIRA, E. B. et al., 1996. "Survey of the incident solar radiation in Brazil by use of meteosat satellite data". Solar Energy, Vol. 57, No. 2, p.125-132

PETROBRAS. Energias renováveis. Energia solar. Disponível em: <www.petrobras.com.br>. Acesso em : 10 nov. 2019.

QUERINO, S.A.C. Estimativa da radiação de onda longa atmosférica horária no estado de Mato Grosso. 72p. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso. 2016.

SURI,M; CAVECAUER,T. Typical Meteorological Year Data: SolarGIS Approach. Energy Procedia, p. 1958 – 1969. 2015.

SCARDUELI, C. Desenvolvimento e aplicação de metodologia para mapeamento da estimativa de geração distribuída utilizando sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas. 47p, Monografia (Curso de Engenharia de Energia), Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá. 2015.

SANTOS, A.C.A. Absorção da radiação solar por partículas de aerossóis no pantanal mato-grossense. 113p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso. 2018.

SALAMONI, T.I. Um programa residencial de telhados solares para o Brasil: diretrizes de políticas públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica. 200p. Monografia (Curso de Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina. 2009.

TSURUDA, L. K. ; MENDES, T. A; VITOR, L. R.;SILVEIRA, M. B. A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável e social. 10p. International Workshop Advances in Cleaner Production. 2017.