UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Estudo de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas no Estado de Goiás Utilizando SIG

Ivana Ferreira Galvão

GOIÂNIA, DEZEMBRO DE 2017

Ivana Ferreira Galvão

Estudo de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas no Estado de Goiás Utilizando SIG

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás como requisito a obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Goiás.

Orientação: Prof. Msc. Wellington Nunes de Oliveira

GOIÂNIA, DEZEMBRO DE 2017

IVANA FERREIRA GALVÃO

ESTUDO DE POTENCIAL DE INSTALAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO ESTADO DE GOIÁS UTILIZANDO SIG

Monografia apresentada no Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás.

Aprovado em: 04/12/2017.

Banca Examinadora:

Wellington Nunes de Oliveira

Prof. Wellington Nunes de Oliveira– Universidade Federal de Goiás(Orientador)

Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira– Universidade Federal de Goiás

Karla Emmanuela R. Hora

Prof. Dr. Karla Emmanuela Ribeiro Hora – Universidade Federal de Goiás

Hugo José Ribeiro

Prof. Hugo José Ribeiro – Universidade Federal de Goiás

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:

Wellington Nunes de Oliveira

Prof. Wellington Nunes de Oliveira

Em: 13/12/2017

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que colaboraram para a minha formação, principalmente à minha família, que me apoiou nessa jornada. Agradeço também a todos os amigos e professores que auxiliaram na construção do conhecimento e de valores que levarei por toda vida. Por fim, agradeço ao meu orientador Wellington Nunes por ter abraçado esse estudo e me auxiliado a avançar nos obstáculos e dificuldades. A estes dedico este estudo, fruto de muito labor.

RESUMO

Diante do rápido avanço no uso das energias renováveis como alternativa aos combustíveis fósseis e às fontes energéticas de grande impacto, o Estado de Goiás tem tomado diversas iniciativas em prol da ampliação do mercado de energia solar fotovoltaica. Desta forma, negócios e empresas do ramo fotovoltaico se voltam ao estado de Goiás pelo seu crescente potencial para o desenvolvimento e aplicação desta tecnologia. Neste estudo, por meio do uso de Sistema de Informação Geográfica, programa e ferramentas de geoprocessamento foi realizada uma análise do potencial de instalação destas usinas no estado. Considerando vários atributos decisivos para a instalação de usinas fotovoltaicas centralizadas, bem como definindo pesos a cada um desses fatores, foi possível por meio de análise multicritério e combinação linear ponderada, elaborar um mapa de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas no Estado de Goiás. Foi observado que o estado possui um ótimo potencial em toda sua área, em destaque na região nordeste, noroeste e oeste, onde há grandes extensões com os maiores potenciais do estado.

Palavras-chave: *Solar. Fotovoltaica. Potencial. Goiás. SIG*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Matriz elétrica e energética mundial em 2015. (MME, 2016) ---------- 11
Figura 2- Matriz elétrica e energética brasileira em 2015.(MME, 2016) ---------- 12
Figura 3- Mapa da média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro (ENIO et al, 2017) ---------- 14
Figura 4- Mapa de médias mensais da irradiação global diária. (ENIO et al, 2017) ---------- 15
Figura 5- Esquema de entrada e saída de dados e informações em SIG (OLIVEIRA, 2013) 24
Figura 6– Etapas de desenvolvimento do trabalho. ---------- 25
Figura 7- Mapa de Localização do Estado de Goiás com locação de rodovias.---------- 33
Figura 8- Mapa de Fatores Restritivos. ---------- 35
Figura 9- Mapa de Radiação do estado de Goiás ---------- 36
Figura 10- Mapa de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas do Estado de Goiás. 37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação de potencial poluidor de usinas fotovoltaicas no estado de Goiás. (SECIMA, 2017)----------21
Quadro 2- Fatores a serem utilizados na análise de potencial das áreas e suas fontes.-----25
Quadro 3- Unidades de Conservação e suas classificações----------28
Quadro 4- Valores possíveis e pesos de cada atributo considerado no estudo.----------30
Quadro 5- Potencial de instalação de usinas fotovoltaicas no território goiano----------37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 8
2. USO DE ENERGIA ELÉTRICA E FONTES ENERGÉTICAS 9
2.1. HISTÓRICO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS E SOLAR NO BRASIL 12
3. POTENCIAL NO PAÍS E ESTADO 13
4. IMPACTOS DA ENERGIA SOLAR 16
4.1. MEIO FÍSICO 16
4.2. MEIO BIÓTICO 16
4.3. MEIO SOCIOECONÔMICO 17
4.4. IMPACTOS NA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES FOTOVOLTAICOS 17
5. POLÍTICAS DE INCENTIVO 19
6. LICENCIAMENTO AMBIENTAL 21
7. SIG COMO FERRAMENTA DE APOIO 23
8. METODOLOGIA 24
8.1. ATRIBUTOS AVALIADOS 25
8.1.1. Declividade 26
8.1.2. Radiação Solar 26
8.1.3. Centros Urbanos 27
8.1.4. Linhas de Transmissão 27
8.1.5. Estradas 27
8.1.6. Unidades de Conservação 27
8.1.7. Comunidades Tradicionais 30
8.2. PESOS ATRIBUÍDOS AOS FATORES 30
8.3. PREPARAÇÃO DOS DADOS 32
8.4. ANÁLISE MULTICRITÉRIO 32
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO 33
9.1. MAPA TEMÁTICOS 33
9.1.1. Malha Viária e Localização 33
9.1.2. Mapa de Fatores Restritivos 35
9.1.3. Radiação 36
9.2. POTENCIAL DE INSTALAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS 37
10. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS 39
11. REFERÊNCIAS 40

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são cada vez mais evidentes e apesar das incertezas quanto a sua magnitude, foi aceito por grande parte da comunidade científica, que se trata de um fenômeno real causado principalmente pelo uso descontrolado de combustíveis fósseis (CALIJURI; CUNHA, 2013). Além disso, esta fonte de energia é responsável por grandes impactos ambientais na sua obtenção, refino, transporte e uso. Neste contexto, as fontes de energia renováveis surgem como uma alternativa de baixos impactos, substituindo os combustíveis fósseis.

Estas fontes renováveis se encontram em pleno e extenso uso, em diversas situações, espalhadas pelo mundo todo. Entretanto, segundo o Banco de informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), 61,27% da energia total gerada no Brasil é proveniente de usinas hidrelétricas, demostrando uma dependência considerável de sistemas hidroelétricos, que apesar de serem renováveis, estão relacionadas a grandes impactos e nem sempre são viáveis.

A energia solar é uma das fontes renováveis de menor impacto, pois não emite poluição nem ruído no meio ambiente durante a operação das usinas (CALIJURI; CUNHA, 2013). Além disso, o Brasil é um país com grande disponibilidade de energia solar por conta da sua localização geográfica. Este potencial de aproveitamento da energia solar extrapola em muitas vezes o consumo total de energia elétrica no país. Um exemplo deste potencial solar, utilizado por Rüther (2004), é a comparação com a usina hidrelétrica Itaipu, que é responsável por gerar aproximadamente 25% da energia elétrica consumida no país. Na hipótese, cobrindo-se a área alagada de Itaipu com módulos solares fotovoltaicos, seria possível produzir o dobro de energia gerada pela hidrelétrica, ou seja, 50% da eletricidade consumida no Brasil. (OLIVEIRA; ZILLES, 2001)

Atualmente, diversos estados brasileiros como São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco e Estado de Goiás, têm dado grande atenção à energia solar, por meio de políticas públicas e incentivos. Em Goiás, a mais nova estratégia governamental é o Programa

Goiás Solar, que traz propostas de criação e ampliação de crédito para produtores de energia solar, assim como o fortalecimento da classe por meio de capacitação e criação de um Comitê Estadual de Energia Fotovoltaica, entre outros. Entretanto, poucos estudos relacionados à energia fotovoltaica são direcionados ao estado de Goiás, dificultando o processo de planejamento e discussão dos novos caminhos energéticos a serem trilhados.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) consiste em ferramenta do geoprocessamento, que por sua vez, é uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, amplamente utilizadas nas áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. Além da grande gama de aplicações de SIG, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente devido ao uso de tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento possa ser adquirido localmente. (CÂMARA *et al*., 2001)

Este estudo vem, portanto, responder à questão: É possível mapear as áreas com maior potencial de instalação destas usinas solares fotovoltaicas? Além disso, este estudo vem suprir uma dentre várias análises necessárias para um estabelecimento claro e coerente de fontes energéticas solares na matriz goiana. Por fim, ele tem como objetivo analisar e mapear áreas do estado de Goiás, conforme a viabilidade de instalação de sistemas fotovoltaicos, com o auxílio da ferramenta SIG.

2. USO DE ENERGIA ELÉTRICA E FONTES ENERGÉTICAS

Na história da humanidade, o homem utilizou diversas fontes energéticas, evoluindo desde a descoberta do fogo, até a energia nuclear. Conforme as necessidades e mudanças no estilo de vida, o homem utilizou diferentes fontes matrizes que fossem mais favoráveis e disponíveis. Assim, com a junção de fatores sociais, geográficos, políticos e econômicos surge o atual quadro da matriz energética.

A maior parcela de energia consumida no mundo ainda provém de combustíveis fósseis, que são utilizados desde os primórdios da revolução industrial, com o uso do

carvão, que substituiu a queima de madeira. Até 1961, o carvão era a principal fonte primária de energia no mundo, quando foi ultrapassado pelo petróleo. (FARIAS; SELLITTO, 2011)

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2016), a matriz energética mais utilizada mundialmente continua sendo o petróleo, representando 31,4% do total. Como pode ser observado na Figura 1, as energias renováveis, que consistem na soma de energia hidráulica e outras (Biomassa, Biodiesel, Eólica, Solar, Geotérmica, Marés etc.) representam apenas 13,8% da matriz energética. Já no Brasil (Figura 2), as energias renováveis totalizam 41,2% da matriz energética, principalmente por outras fontes além da hidráulica.

Quanto a matriz elétrica, os dados são diferentes; no cenário mundial, a fonte mais utilizada é o carvão e as energias renováveis tem maior representatividade, com 23,8%. Já no Brasil, a energia de fonte hidráulica representa 61,9% do total, evidenciando o amplo uso e predomínio de hidrelétricas no país que, somada ás outras fontes renováveis, representam 74% do total da matriz elétrica. Portanto o Brasil apresenta índices maiores que os mundiais de uso de energias renováveis na matriz energética e elétrica. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016)

Segundo Nascimento (2017), os países líderes em energia solar fotovoltaica instalada, em 2015 são, em ordem crescente, Itália com 18,9 GWp(*Global Warming Potential*), EUA com 25,6 GWp, Japão com 34,4 GWp, Alemanha com 39,7 GWp e China com 43,5 GWp.

Observando os dados das Figuras 1 e 2, é possível concluir que o uso de energia solar no Brasil, comparada com o mundial, guardadas as devidas proporções, tanto para matriz energética como elétrica, é pouco utilizado, apesar do país possuir grande potencial de radiação solar, como será demostrado nos próximos tópicos.

O consumo de energia elétrica no Brasil, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do ano de 2000 para 2010, teve um aumento de 40,7% juntamente com um crescimento populacional de 10,9%. Diante disto, o governo brasileiro veio nos últimos anos, desenvolvendo planos para aumentar a produção

energética. A exemplo do Plano Nacional Energético (PNE, 2030) e do Plano de Aceleração de Crescimento (PAC). O PAC 2, para o Setor Energético, propôs investimentos na geração e transmissão de eletricidade, exploração de óleo e gás, combustíveis renováveis e pesquisa mineral. Segundo o Ministério do Planejamento (2017), até 2016, executou-se 53,1% das ações propostas no PAC para o quadriênio 2015-2018.

Figura 1- Matriz elétrica e energética mundial em 2015. (MME, 2016)

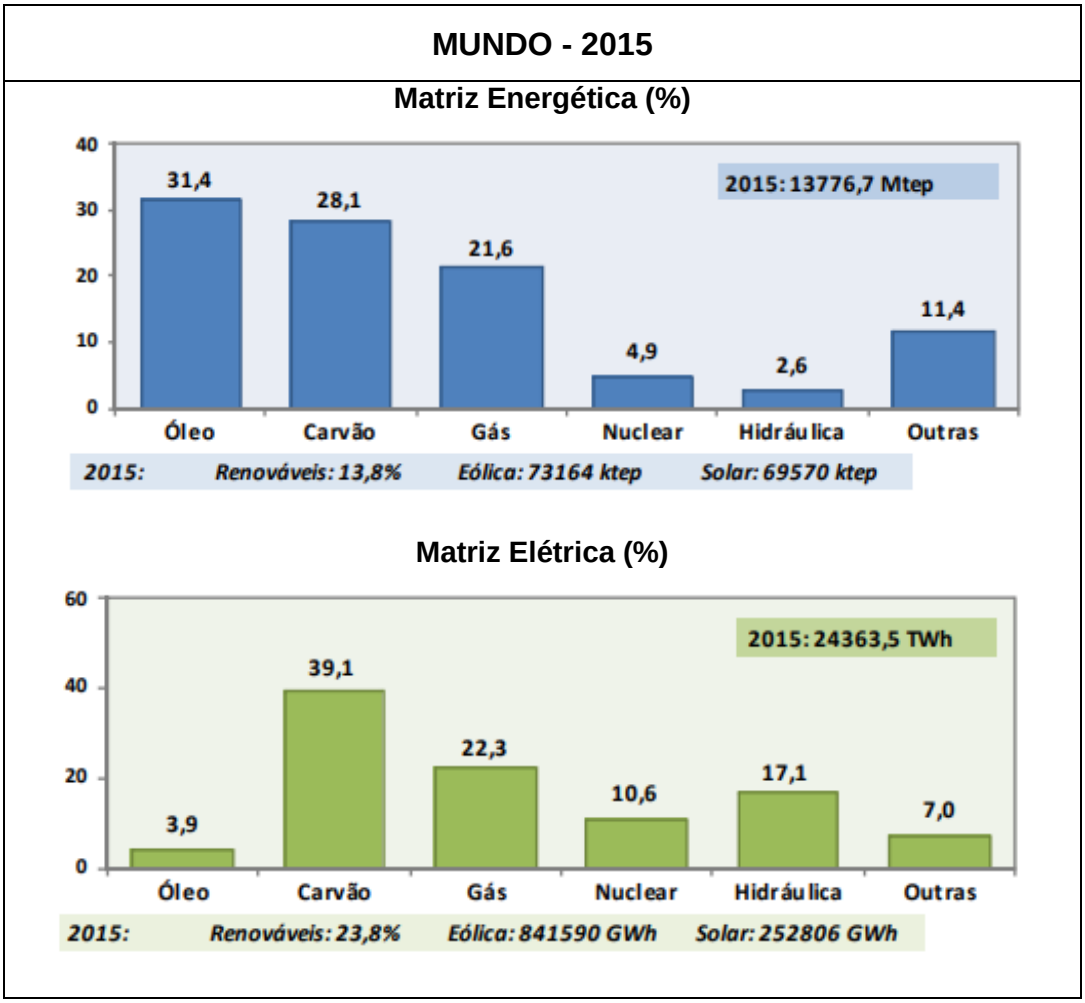
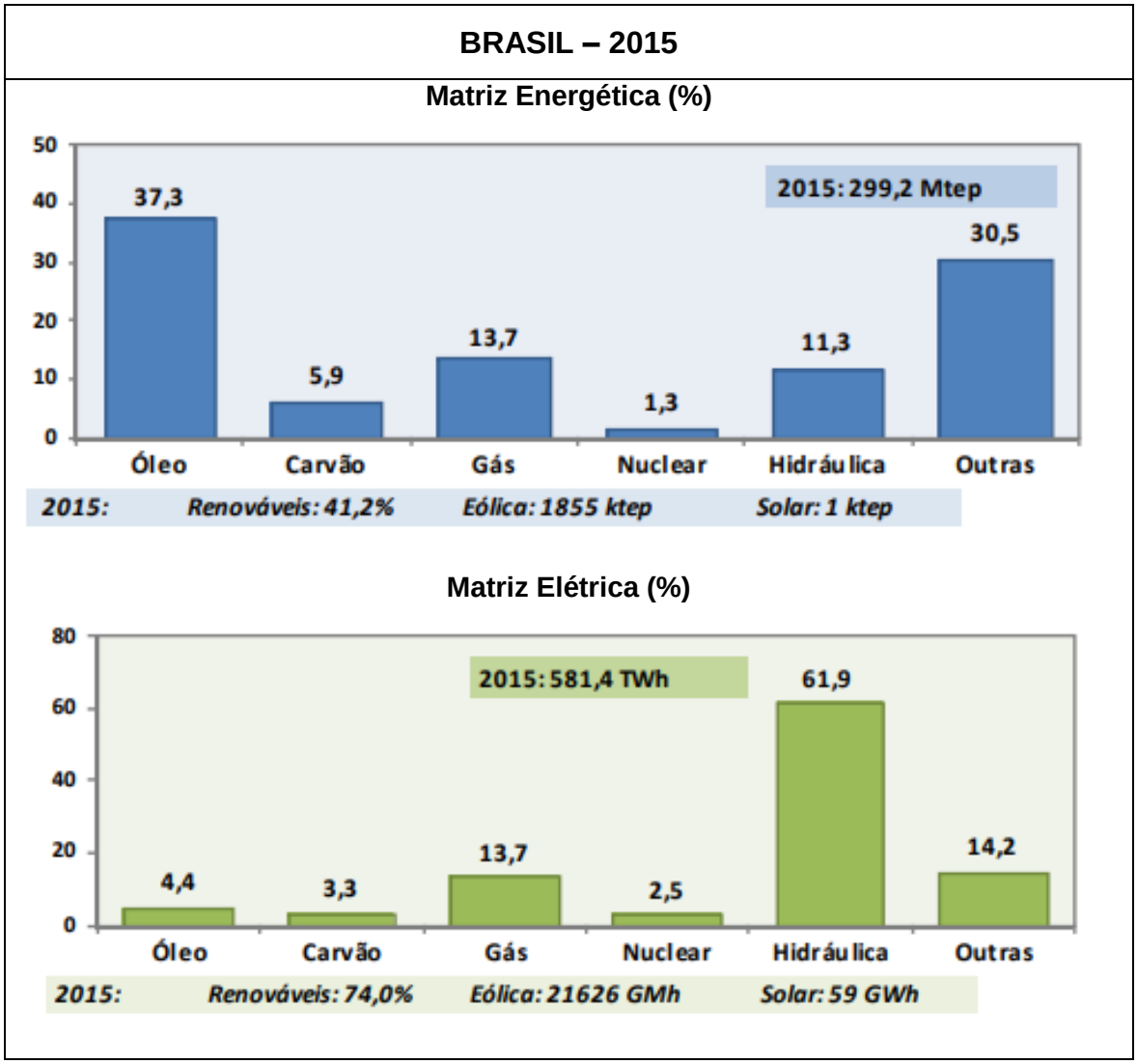


Figura 2- Matriz elétrica e energética brasileira em 2015.(MME, 2016)



2.1. HISTÓRICO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS E SOLAR NO BRASIL

Similarmente à tendência global, no Brasil, a implantação de sistemas fotovoltaicos se deu primeiramente no meio rural, com o incentivo governamental ou de companhias de energia, para a instalação de sistemas autônomos de geração como sistemas residenciais e de bombeamento de água. Apenas na metade da década de 90 foram realizadas as primeiras conexões de sistemas fotovoltaicos à rede de distribuição, sendo a primeira conexão realizada em Recife, capital de Pernambuco. (OLIVEIRA; ZILLES, 2001)

O comprometimento com a geração de energia por fontes renováveis, em decremento dos combustíveis fósseis, tornou-se ainda maior com a celebração do Acordo de Paris, na COP 21, no ano de 2015. O Brasil traçou uma meta de redução de emissões de gases de efeito estufa, em 2025 e 2030, respectivamente em 37% e 43% em relação aos níveis de 2005. (NASCIMENTO, 2017)

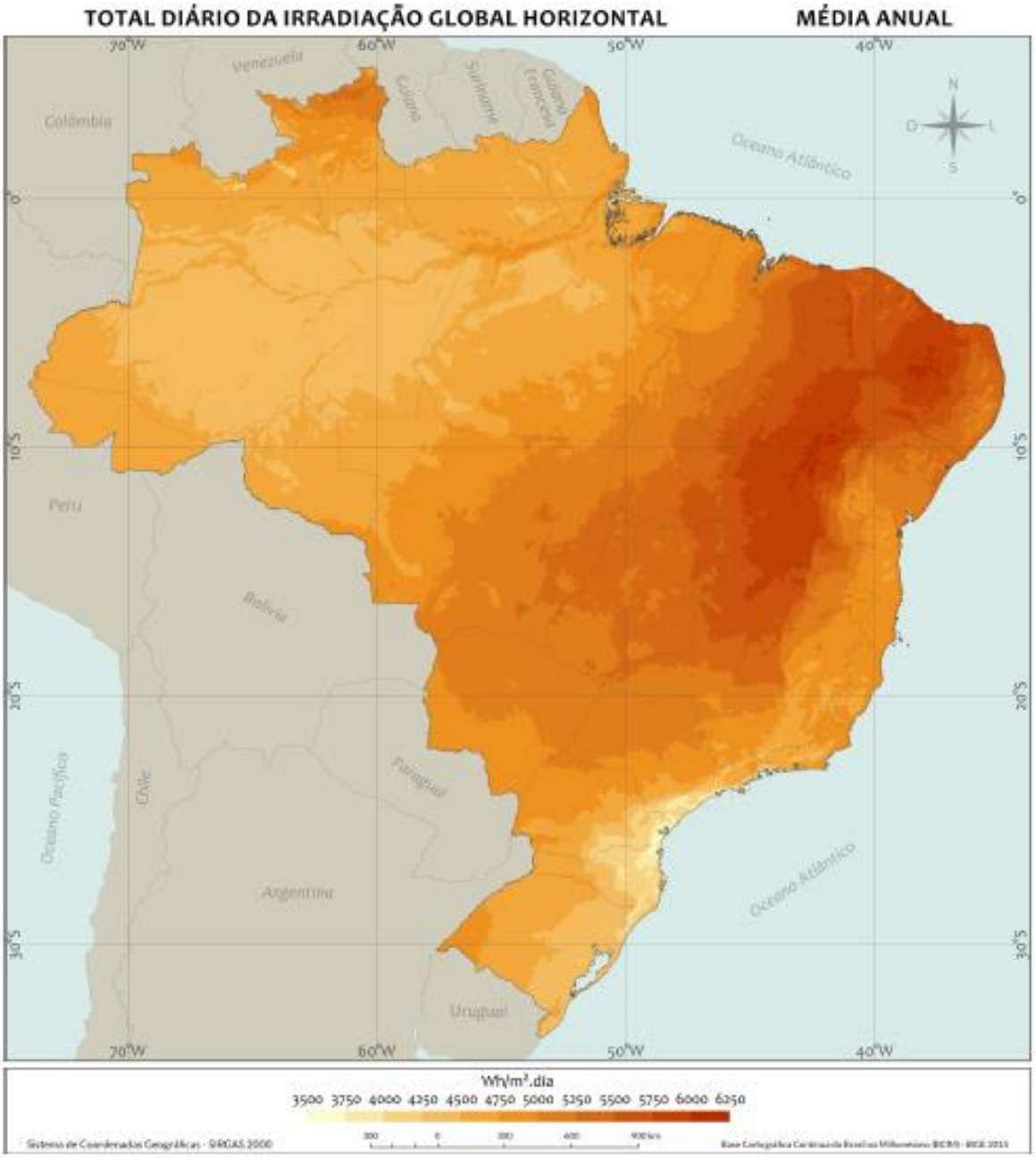
3. POTENCIAL NO PAÍS E ESTADO

O Brasil possui expressivo potencial para geração de energia elétrica a partir de fonte solar, contando com níveis de irradiação solar superiores aos de países onde projetos para aproveitamento de energia solar são amplamente disseminados, como Itália, França, Alemanha, Japão. Ademais, de acordo com EPE (2012), o Brasil possui grandes reservas de quartzo de qualidade, para a produção de silício com alto grau de pureza, utilizado na fabricação de células e módulos solares, produtos esses de alto valor agregado. (NASCIMENTO, 2017)

O atlas solarimétrico nacional se constitui em valiosa ferramenta de projeto no planejamento energético nacional, onde a energia solar poderá vir a compor a matriz energética nacional a custos competitivos, advindos de sua aplicação em larga escala (RÜTHER, 2004). O mapa solarimétrico, apresentado na Figura 3, retirado da segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar, foi obtido a partir de dados compilados de 17 anos de amostragem, entre 1999 e 2015, e mostra a média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro. Estes dados foram coletados levando em conta irradiação que chega à superfície terrestre, portanto, considera o bloqueio causado por nuvens. (ENIO *et al*, 2017)

Observando este mapa, é possível concluir que as maiores médias de irradiação solar global incidente ocorrem na região nordeste, enquanto as menores médias se encontram na região do litoral sul e no Amazonas, (onde há maior cobertura por nuvens graças às altas taxas de evapotranspiração). (ENIO *et al*, 2017)

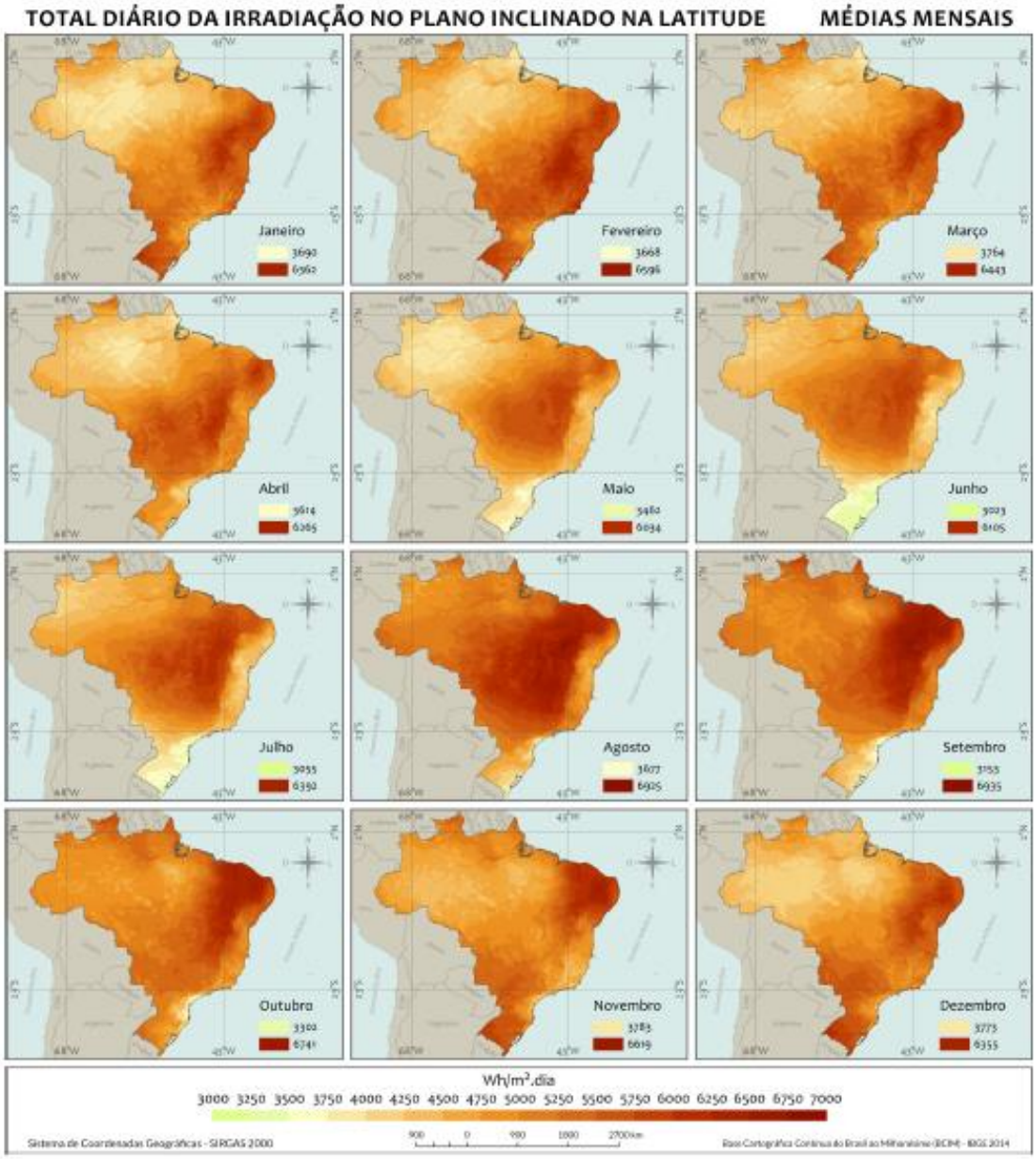
Figura 3- Mapa da média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro (ENIO *et al*, 2017)



Em Goiás, como pode ser observado na Figura 3, a radiação solar se destaca como alta, sendo que na região norte do estado, tem-se valores de radiação entre 5.250 a 6.000 Wh/m².dia. Comparando com a máxima nacional, Goiás apresenta uma ótima radiação para instalação de usinas fotovoltaicas. Vale ressaltar que ainda não existe atlas solarimétrico específico para o Estado de Goiás.

A radiação solar é fortemente influenciada pela sazonalidade. Este aspecto pode ser observado na Figura 4, onde são dispostos mapas de médias mensais da irradiação global diária, de modo que o período de dezembro a fevereiro refere-se ao Verão, de março a maio ao Outono, de junho a agosto ao Inverno e de setembro a novembro refere-se à Primavera. Um forte exemplo desta influência é a irradiação recebida na região sul, onde existe um aumento de cerca de 50% da irradiação solar do período de Inverno para o Verão.

Figura 4- Mapa de médias mensais da irradiação global diária. (ENIO et al, 2017)



4. IMPACTOS DA ENERGIA SOLAR

Como todas usinas geradoras de energia elétrica, as fotovoltaicas também causam diversos impactos ambientais positivos e negativos. Em todo ciclo de vida, desde a extração da matéria prima até a operação das usinas, os impactos existem em variadas amplitudes e abrangências e não podem ser negligenciados. Abaixo são citados os impactos no meio físico, biótico e socioeconômico causados durante a instalação e funcionamento das usinas fotovoltaicas. (FILHO, 2015)

4.1. MEIO FÍSICO

O local de implantação e operação de usina fotovoltaica sofre diversas modificações paisagísticas e muita movimentação de recursos humanos, maquinário, equipamentos e materiais que não compõem o meio onde o empreendimento será alocado. Desta forma, o meio físico é impactado através da geração de resíduos sólidos, riscos de contaminação do solo, geração de poeiras e gases ocasionados pelo canteiro de obras, além da geração ou intensificação de processos erosivos e alterações do comportamento hídrico e do fluxo hidrológico. (FILHO, 2015). Entretanto, estes potenciais impactos gerados durante a instalação da usina fotovoltaica são controlados e evitados com a adequada gestão ambiental da obra.

4.2. MEIO BIÓTICO

Os ecossistemas são ambientes complexos que contam com processos biológicos dinâmicos. Quaisquer alterações na fauna e flora local, que modifiquem seus ciclos de desenvolvimento, influenciam diretamente sobre o bem-estar humano e o ambiente ecologicamente equilibrado. A instalação de usinas fotovoltaicas pode causar ao meio biótico: perda de cobertura vegetal, afugentamento e fuga da fauna local, cuja migração para vias de rolamento institui risco de acidente, alteração da dinâmica dos

ecossistemas locais, devido ao desequilíbrio causado na fauna e flora e por fim, diminuição da biodiversidade. (FILHO, 2015)

A escolha da área de implantação da usina, portanto, deve ser minuciosa, dando preferência a áreas de pastagem, onde não haja florestas ou unidades de conservação. Desta forma, o impacto no meio biótico é minimizado.

Outro ponto positivo das usinas fotovoltaicas com relação ao meio ambiente é a não geração de gases de efeito estufa e outros gases poluentes durante o seu funcionamento, diferentemente de fontes de combustíveis fósseis que degradam a qualidade do ar.

4.3. MEIO SOCIOECONÔMICO

Os impactos socioeconômicos positivos e mais expressivos, causados pelas usinas fotovoltaicas, são: geração de emprego e renda, crescimento da economia local, aumento da arrecadação tributária, aumento do aprendizado dessa tecnologia, melhoria na segurança, confiabilidade e oferta de energia elétrica. Os potenciais impactos negativos são: riscos de acidente de trabalho, aumento do fluxo de veículos, bem como do consumo de materiais.

Observando todos os impactos gerados durante a instalação e operação de sistemas fotovoltaicos, é possível ver que embora existam impactos negativos, estes são reduzidos e mitigados quando se utiliza de bom planejamento na localização do empreendimento, bem como uma boa gestão nos procedimentos de instalação. Além disso, as usinas fotovoltaicas também apresentam impactos positivos.

4.4. IMPACTOS NA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES FOTOVOLTAICOS

Entretanto, vale lembrar que outros diversos impactos são causados no momento de fabricação dos componentes dos painéis solares, bem como na extração e beneficiamento da matéria-prima que os compõe.

Dentre os diversos semicondutores utilizados para a produção de células solares fotovoltaicas, destacam-se por ordem decrescente de maturidade e utilização o silício cristalino (c-Si); o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou simplesmente a-Si); o telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio (CuInSe2 ou CIS e Cu(InGa)Se2 ou CIGS). Neste último grupo aparecem elementos altamente tóxicos e carcinogênicos (Cd, Se, Te), que devido ao preço competitivo, ainda são utilizados e podem resultar em impactos catastróficos na saúde pública e no meio ambiente - caso os subprodutos advindos da fabricação dessas placas fotovoltaicas sejam destinados de forma incorreta. (SHAH, 1992; MULVANEY, 2014)

Um exemplo de fato descrito ocorreu na China, na cidade de Gaolong, onde a empresa *Luoyang Zhonggui High-Technology Co*. fez, durante meses, o descarte inadequado de subprodutos de polisilício, expondo a população ao elemento tóxico e tornando a terra improdutiva. (The Washington Post Company, 2008). Este se torna um paradoxo de responsabilidade mundial, já que, desde 2008, a fabricação de células fotovoltaicas tem saído da Europa, Japão e Estados Unidos, para se instalar na China, Malásia, Filipinas e Taiwan. Em 2014, quase metade dos produtos fotovoltaicos- cuja finalidade é produzir energia mais “limpa”- do mundo foram produzidos na China, onde leis trabalhistas são precárias, bem como a proteção e atenção ao meio ambiente. (MULVANEY, 2014)

O silício, por outro lado, é o segundo elemento mais abundante na superfície de nosso planeta, representando mais de 25 % da crosta terrestre, e é 100 vezes menos tóxico do que qualquer um dos outros elementos citados acima (SHAH, 1992). Entretanto, sua extração e manipulação envolvem gastos com energia e materiais- o que traz à tona a discussão de outro impacto significativo que é o gasto de energia associado à fabricação de componentes fotovoltaicos. A produção de 1kWh de energia fotovoltaica, está associado à emissão de 81,2 g de CO2 (dióxido de carbono), que é equivalente também ao consumo de 9,35 litros de água, dos quais, 95% são demandados apenas no processo de fabricação de células fotovoltaicas. Para esclarecimento, o kilowatt hora (kWh) é a energia gasta por um aparelho que tem 1

quilowatt, ou 1000 watts de potência, durante uma hora, por exemplo, um ferro de passar roupa.

Portanto, grande cuidado deve ser tomado no mercado de sistemas fotovoltaicos, onde deve ser conhecida, estudada e monitorada a fabricação de seus componentes, garantindo a segurança da saúde pública e qualidade ambiental. Somente tomando estas atitudes, as usinas fotovoltaicas assumem a posição de geradoras de energia renovável e se tornam uma solução viável e positiva ambientalmente.

5. POLÍTICAS DE INCENTIVO

Traçando um paralelo entre o Brasil e os países considerados desenvolvidos, estes últimos têm matriz energética com base principalmente em combustíveis fósseis, enquanto a matriz energética brasileira é predominantemente renovável, com forte presença de hidroelétricas, o que possivelmente diminui o apoio a políticas de incentivo à fonte solar. (NASCIMENTO, 2017)

As fontes renováveis, embora inicialmente mais caras, se expandem através de incentivos governamentais à produção. Assim, havendo ganho em escala e em avanços tecnológicos, o resultado é o aumento na produção, declínio dos custos e por fim, competitividade no mercado energético (RÜTHER, 2004; NASCIMENTO, 2017)

Um exemplo dessas relações é o mercado solar fotovoltaico chinês, que passou de um acréscimo de capacidade instalada de 10,6 GWp em 2014, para 15,2 GWp em 2015, e 77 GWp no final de 2016, uma significativa evolução, superando em grande escala os países europeus. Um dos fatores responsáveis pelo grande avanço dessa energia na China é a quantidade de fabricantes chineses de painéis fotovoltaicos, que propiciam baixos custos de implantação dos geradores. (NASCIMENTO, 2017)

Os programas de incentivo são peças essenciais para que haja a redução de custos da tecnologia e promoção da viabilidade econômica. Por exemplo, os programas de incentivo para o uso de painéis fotovoltaicos em telhados, lançados na década de 90, praticados na Alemanha, Japão e outros países, dentro de poucos anos conseguiu elevar consideravelmente a geração decentralizada. (OLIVEIRA; ZILLES, 2001)

Ressalta-se que a geração de energia solar fotovoltaica pode ser de forma centralizada, com usinas de maior porte, e de geração descentralizada, a chamada geração distribuída, localizada em casas, edifícios comerciais e públicos, condomínios e áreas rurais. Para cada uma dessas, diferentes políticas de incentivo são adotadas, condizendo com o contexto e potência gerada. (NASCIMENTO, 2017)

No Brasil, mesmo sendo incipiente a geração de energia solar fotovoltaica, já existem diversos incentivos voltados ao seu uso, sendo alguns também aplicáveis para outras fontes renováveis de geração de energia elétrica. Silva (2015) listou os principais incentivos existentes, sendo alguns deles:

a) Descontos na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) para empreendimentos cuja potência injetada nos sistemas de transmissão e distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW;

b) Venda Direta a Consumidores Especiais (carga entre 500 kW e 3.000 kW) para geradores de energia de fonte solar e demais fontes renováveis, com potência injetada inferior a 50.000 kW. Na aquisição da energia, os consumidores especiais também fazem jus a desconto nas tarifas de uso;

c) Sistema de Compensação de Energia Elétrica para a Micro e Minigeração Distribuídas: instituído pela Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012, permite que consumidores com geração de até 5 MW a partir de fonte solar ou demais fontes renováveis compensem a energia elétrica injetada na rede com a energia elétrica consumida (sistema net-metering);

d) Convênio nº 101, de 1997, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ): isenta do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) as operações que envolvem vários equipamentos destinados à geração de energia elétrica por células fotovoltaicas e por empreendimentos eólicos; não abrange, no entanto, alguns equipamentos utilizados pela geração solar, como inversores e medidores;

e) Debêntures Incentivadas: instituído pela Lei nº 12.431, de 24 de junho de 2011, isenta rendimentos de pessoas físicas de Imposto de Renda sobre rendimentos relacionados à emissão de debêntures, por sociedade de propósito específico, e outros títulos voltados para a captação de recursos para projetos de investimento em infraestrutura ou pesquisa e desenvolvimento, entre os quais os destinados a geração de energia elétrica por fonte solar;

f) Condições Diferenciadas de Financiamento no BNDES, Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC), Inova Energia, Caixa Econômica Federal (CEF)

g) Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D): fonte de recursos para projetos realizados pelas empresas do setor elétrico e aprovados pela ANEEL relacionados com desenvolvimento da geração de energia solar fotovoltaica no Brasil;

h) Leilões de compra de energia elétrica com produto específico para fonte solar.

Estas ações de fomento, conforme listadas acima, existem em número considerável e além de promover o uso, também permitem ao país participar da cadeia industrial, desenvolvendo produtos de alto valor agregado no âmbito mundial. (EPE,2012; NASCIMENTO, 2017) Não obstante, ainda existe muito a ser feito: novas políticas, parcerias e ações, tomadas utilizando da visão sistêmica da geração fotovoltaica como um todo, devem ser empregadas para surgirem abordagens cada vez mais realistas e resultarem em maior efetividade na consolidação desta fonte da matriz energética nacional.

6. LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O licenciamento ambiental de usinas fotovoltaicas é regido em esfera federal pela Resolução CONAMA nº 279/2001, que estabelece procedimentos para licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. Na norma é abordado de forma genérica, juntamente com usinas eólicas, da seguinte forma:

> *"... Art. 1° - Os procedimentos e prazos estabelecidos nesta Resolução aplicam-se, em qualquer nível de competência, ao licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental, aí incluídos: IV - Usinas Eólicas e outras fontes alternativas de energia...".*

Entretanto, a resolução não traz claramente o que é pequeno impacto ambiental, gerando uma insegurança jurídica para os técnicos quanto a quem deve determinar o que é pequeno porte: se o próprio técnico ou o texto legal. Diante deste impasse, Filho et al (2015) sugerem que seja criada uma norma federal específica para o licenciamento de usinas fotovoltaicas.

Desta forma, a Secretaria do Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos do estado de Goiás (SECIMA), bem como órgãos de diversos estados como Minas Gerais, Ceará, Paraná, elaboraram suas próprias portarias, para que o licenciamento simplificado de usinas fotovoltaicas pudesse ser realizado de forma mais clara e eficiente. Assim, foi instituída a Portaria SECIMA/GAB Nº 36 DE 16 de fevereiro de 2017, que traz diretrizes para o licenciamento das usinas fotovoltaicas em Goiás. Esta Portaria classifica o potencial poluidor das usinas através da sua área útil, conforme o Quadro 1:

Quadro 1- Classificação de potencial poluidor de usinas fotovoltaicas no estado de Goiás.(SECIMA, 2017)

Categoria	Área Útil (hectare)	Potencial Poluidor	Enquadramento
I	Até 30 ha	Pequeno	Declaratório
II	Acima de 30 ha até 100 ha	Médio	Relatório Ambiental Simplificado (LP, LI, LO)
III	Acima de 100 ha	Grande	EIA/RIMA

Conforme apresentado no Quadro 1, em Goiás houve a facilitação da instalação de usinas fotovoltaicas, que ocupando uma área útil de até 30 ha, estão dispensadas do licenciamento ambiental, sendo necessário que se faça apenas a declaração online através do sistema Weblicenças. Já as usinas que ocuparem a partir de 30 ha até 100 ha devem realizar o licenciamento ambiental, mas de forma simplificada, com a

apresentação de um Relatório Ambiental Simplificado (RAS) ao órgão estadual. Por fim, as usinas de área acima de 100 ha devem realizar o licenciamento ambiental apresentando o Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), que são estudos mais completos e profundos, que possibilitam o levantamento detalhado dos impactos socioambientais e formas de mitigação e compensação.

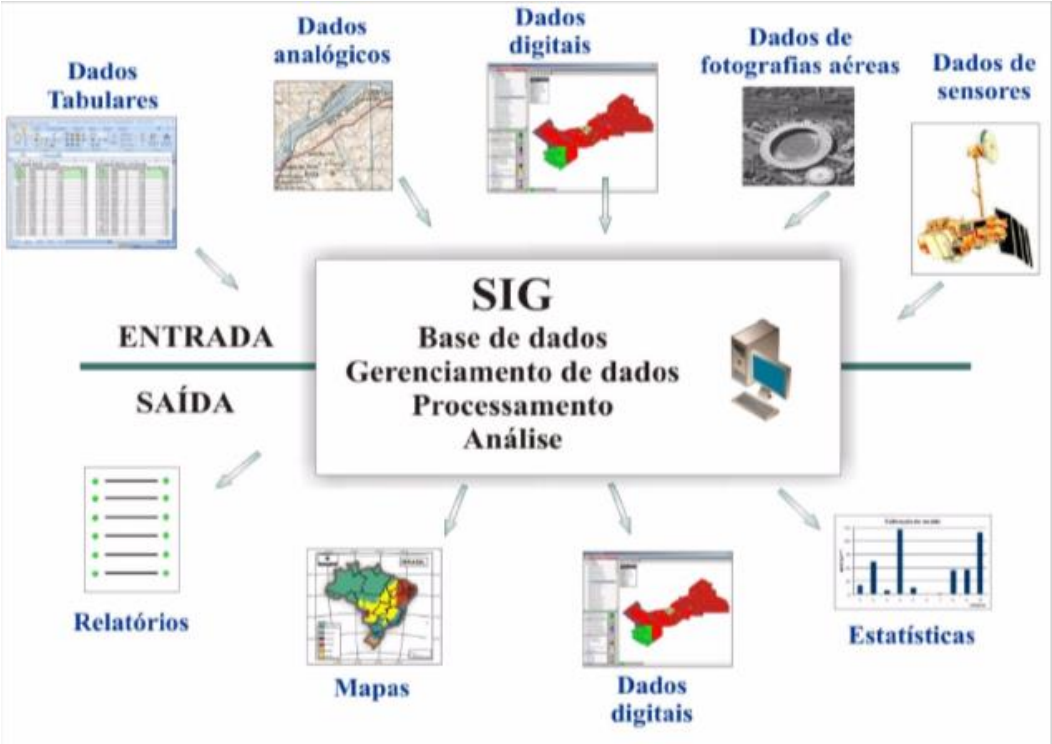
7. SIG COMO FERRAMENTA DE APOIO

Segundo Ferreira (2006), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são o conjunto de ferramentas e operações para entrada, manipulação e exibição de informações geográficas. Esses constituintes são equipamentos, dados, usuários e procedimentos, para resolver um problema, auxiliar decisões e planejamentos. As informações coletadas, armazenadas e tratadas pelo SIG são sobre o que está/ou ocorre na superfície da Terra, portanto, sempre estão aliadas à localização geográfica. (FERREIRA, 2006; CÂMARA et al, 1996)

Os dados de entrada podem ser de diversas fontes, bem como podem ser de natureza raster ou vector. O SIG tem a função de integrar estes dados através de algoritmos de manipulação e análise, dando origem a diversos produtos como relatórios, mapas, dados digitais e estatísticos, como mostrado no esquema da Figura 5. (OLIVEIRA, 2013)

Com o conceito de desenvolvimento sustentável, consagrado na Rio-92, foi estabelecido que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no ambiente, a curto, médio e longo prazo. Estas análises devem ter abordagem multidisciplinar, auxiliando na compreensão da região e de quais impactos estão associados à localização da atividade ou empreendimento. Desta forma, devem ser apresentados mapas temáticos, como geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal, área de influência, caracterização geral da região, que servem como uma ferramenta de diagnóstico e tomada de decisão por parte do órgão ambiental licenciador e empreendedores. (CÂMARA et al, 2001)

Figura 5- Esquema de entrada e saída de dados e informações em SIG (OLIVEIRA, 2013)



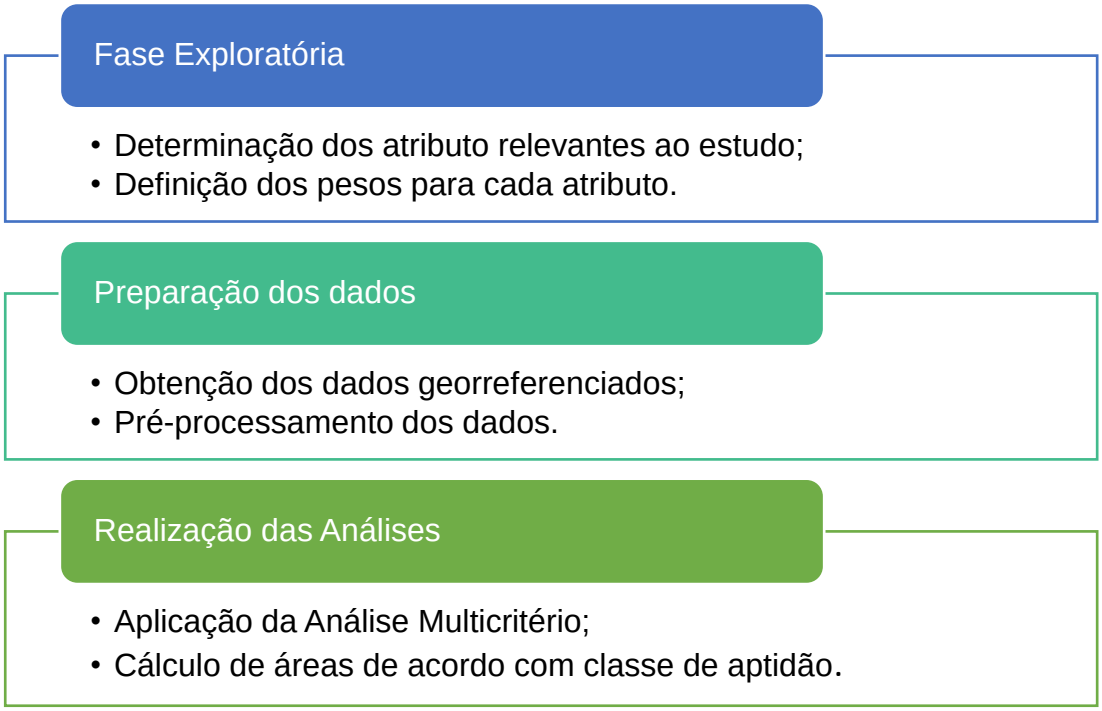
Diversas questões podem ser respondidas com o uso de SIG. Por exemplo, qual é a área de uma unidade de conservação? Onde se encontra determinado ponto turístico de uma cidade? Quais os mananciais presentes em uma área específica? Entre outros. Além disso, os dados de localização são associados a outros tipos de informação, podendo ser: dados demográficos, de declividade, elevação, dados pluviométricos, entre outros (FERREIRA, 2006). Desta forma, o SIG tem aplicações nas áreas socioeconômicas, ambientais e de gerenciamento. (CÂMARA et al, 1996)

8. METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste estudo foi inspirada na literatura existente, por métodos utilizados por Janke (2010) e Vicari (2012) para a análise de potencial de instalação de usinas eólicas e solares em Colorado e Rio Grande do Sul, respectivamente. Para

a aplicação da metodologia, a ser explicada posteriormente, foram realizadas as etapas que constam no organograma na Figura 6.

Figura 6– Etapas de desenvolvimento do trabalho.



8.1. ATRIBUTOS AVALIADOS

Para avaliar o potencial das áreas, foram levados em consideração diversos atributos, que segundo a literatura, tem considerável influência na tomada de decisão na instalação de usinas fotovoltaicas. Os fatores utilizados se encontram no Quadro 2 abaixo, com a fonte da qual foram obtidos, o ano correspondente e a resolução espacial ou escala.

Pode-se notar que as resoluções espaciais e escalas variam entre os diferentes atributos. Isto se deve à variedade de satélites utilizados para captação dos dados, além dos diferentes processamentos pelos quais cada série passou até gerar o *shapefile* utilizado neste estudo.

Quadro 2- Fatores a serem utilizados na análise de potencial das áreas e suas fontes.

FATORES DE ANÁLISE	FONTES	ANO	RESOLUÇÃO ESPACIAL/ ESCALA
Elevação / Declividade	SIEG	2014	12,5 X 12,5 m
Dados de radiação	LABREN/ CCST/ INPE	2017	10 X 10Km
Centros Urbanos	LAPIG/SIEG	2010	1:250.000
Linhas de Transmissão	CELG	2005	1: 100.000
Estradas	AGETOP	2012	1: 100.000
Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável	IBAMA/SECIMA	2014	1: 250.000 /1:100.000
Terras indígenas	FUNAI	2014	1:250.000
Quilombos	INCRA	2014	1:10.000

8.1.1. Declividade

Cada um destes parâmetros a serem analisados tem reflexo na viabilidade de instalação de usinas fotovoltaicas. Os dados de elevação do estado foram processados para resultarem no mapa de declividades do estado. O fator declividade foi levado em conta, pois terrenos com alto declive sofrem o efeito de sombreamento durante parte do dia, não obtendo o máximo aproveitamento do potencial de produção energética das placas fotovoltaicas. Além disso, existe a dificuldade técnica de realizar a instalação em terrenos com alta declividade e caso haja interesse em realizar o aterro, haverá o aumento no custo de instalação. Por fim, segundo estudos de Yamamoto (2015), os painéis fotovoltaicos apresentam restrições quanto a instalação, sendo a inclinação máxima do terreno permitida de 5°. Para terrenos a cima dessa declividade, ainda é possível realizar a instalação da usina, mediante trabalhos de terraplanagem, que adiciona custos à obra. Assim, neste estudo, terrenos com menores declives foram considerados como mais favoráveis à instalação dos painéis.

8.1.2. Radiação Solar

Outro fator influente é a radiação solar incidente na área, que nos diz sobre a energia disponível para captação pelos painéis solares. É notável, pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), que a radiação no estado de Goiás se encontra em faixa

boa/ótima. Também é possível observar que existem áreas mais favorecidas na região nordeste do estado, portanto, estas apresentam maior disponibilidade energética.

8.1.3. Centros Urbanos

Os parâmetros de distância de centros urbanos têm duas possíveis interpretações; quanto mais próximo de centros urbanos, mais próximo dos consumidores, portanto, menos gastos com o transporte da energia. Ao mesmo tempo, as usinas fotovoltaicas de geração concentrada não são adequadas para instalação em cidades, devido o espaço requerido para tal. Nas cidades são aplicadas gerações distribuídas, sendo que cada gerador é ligado independentemente na rede. Portanto, não foram levadas em conta as áreas de centros urbanos, entretanto, a proximidade destes será levada como um fator positivo.

8.1.4. Linhas de Transmissão

As linhas de transmissão são estruturas essenciais para o transporte da energia gerada nas usinas para os centros urbanos ou pontos de consumo. Portanto, quanto mais próximos os sistemas fotovoltaicos se localizarem das linhas de transmissão, menor o gasto a ser feito na ligação com a rede. (JANKE, 2010)

8.1.5. Estradas

Similarmente, as estradas são infraestruturas que facilitam a instalação das usinas. Quanto mais próxima de estradas, mais fácil é o acesso às áreas, resultando em uma economia no trânsito de maquinário necessário para a instalação e manutenção da usina, bem como o transporte de placas e outros constituintes dos sistemas fotovoltaicos. (JANKE, 2010)

8.1.6. Unidades de Conservação

Existem diferentes restrições quanto instalação de infraestrutura de painéis fotovoltaicos em áreas de Unidades de Conservação (UCs). As áreas instituídas pelo Poder Público como UCs são áreas geridas para fins de preservar o patrimônio biológico e promover o desenvolvimento sustentável dos recursos naturais. As UCs são divididas em de Proteção Integral e de Uso Sustentável e subdivididas em 12

(doze) categorias, segundo a Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000, sendo que cada uma destas apresenta restrições específicas quanto ao uso e gestão.

As Unidades de Conservação de Proteção Integral não devem ter seus recursos utilizados de forma direta, apenas indireta e de forma restrita, através de pesquisas ou turismo ecológico. Desta forma, estas UCs não são passíveis de instalação de usinas fotovoltaicas centralizadas, que requerem espaço, remoção de vegetação e modificação no uso do solo. Já as UCs de Uso Sustentável, bem como as faixas de 3km de todas as UCs, (independente da tipologia) são consideradas como áreas passíveis realização de atividades, desde que estas sejam compatíveis com a tipologia da UC, tendo baixos impactos negativos, agregando nos aspectos socioambientais, levando o desenvolvimento sustentável e cumprindo as exigências legais.

Entretanto, tendo em vista que o propósito das usinas fotovoltaicas é a geração energética mais sustentável, com o mínimo impacto ambiental e melhor aproveitamento dos recursos naturais, a instalação desses empreendimentos em áreas protegidas de UCs, sejam elas de Proteção Integral ou Uso Sustentável, é incoerente e incompatível, já que estas usinas devem ser instaladas em terrenos amplos, onde não ocorra o sombreamento por vegetação e que tenha declividade e regularidade desejável. Portanto, usinas fotovoltaicas centralizadas não são atividades compatíveis com UCs, pois solicitariam considerável intervenção e modificação nas áreas protegidas. Assim, neste estudo, as UCs não serão consideradas como áreas com potencial de instalação.

As UCs de Uso Sustentável, bem como de Proteção Integral do Estado de Goiás cujas informações se encontram georreferenciadas e foram utilizadas neste trabalho, são listadas no Quadro 3.

Quadro 3- Unidades de Conservação e suas classificações.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL		
N°	**NOME DA UNIDADE**	**MUNICÍPIOS**
1	P.N. da Chapada dos Veadeiros	Alto Paraíso, Cavalcante, Nova Roma, Teresina de Goiás, São João D'Aliança

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL		
2	P.E. Telma Ortegal	Abadia de Goiás
3	P.E. dos Pirineus	Pirenópolis, Cocalzinho de Goiás e Corumbá de Goiás
4	P.E. da Serra Dourada	Mossâmedes, Goiás e Buriti de Goiás
5	P.E. da Serra de Caldas Novas	Caldas Novas e Rio Quente
6	P.E. do Araguaia	São Miguel do Araguaia
7	P.E. de Paraúna	Paraúna
8	P.N. da Bacia do Rio Descoberto	Aguas Lindas de Goiás
9	P.E. da Mata Atlântica	Água Limpa
10	P.E. da Serra de Jaraguá	Jaraguá
11	P.E. Altamiro de Moura Pacheco	Goiânia, Goianápolis, Teresópolis e Nerópolis
12	P.N. das Emas	Mineiros, Chapadão do Céu, Serranópolis, Alto Taquari e Costa Rica
13	P.N. de Brasília	Distrito Federal
14	P.E. de Terra Ronca	São Domingos e Guarani de Goiás
15	Parque Natural Municipal das Orquídeas José Pinheiro de Souza	Piracanjuba
16	Parque Natural Minicipal Ribeiro da Prata	Posse
17	Parque Natural Municipal do Pequi	Mambaí
18	Parque Natural Municipal do Setor Santa Cruz	Catalão
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE USO SUSTENTÁVEL		
N°	**NOME UC**	**MUNICÍPIOS**
1	A.P.A. da Bacia do Rio Descoberto	Águas Lindas de Goiás e Padre Bernardo
2	A.P.A. dos Meandros do Rio Araguaia	São Miguel do Araguaia e Nova Crixás
3	A.P.A. Nascentes do Rio Vermelho	Damianópolis, Buritinópolis, Mambaí e Posse
4	A.P.A. do Planalto Central	Planaltina e Padre Bernardo
5	F.E. do Araguaia 1	São Miguel do Araguaia
6	F.E. do Araguaia 2	São Miguel do Araguaia
7	A.P.A. Pouso Alto	Alto Paraíso de Goiás, Cavalcante, Nova Roma, Teresina de Goiás e São João da Aliança
8	A.P.A. Serra das Galés e da Portaria	Paraúna
9	A.P.A. da Serra da Jibóia	Palmeiras de Goiás e Nazário
10	A.R.I.E. Águas de São João	Cidade de Goiás (Distrito de São João)
11	A.P.A. da Serra Geral de Goiás	São Domingos e Guarani de Goiás
12	A.P.A. da Serra dos Pirineus	Pirenópolis, Cocalzinho de Goiás e Corumbá de Goiás
13	RVS Serra da Bocaina	Uirapuru
14	A.P.A. do Ribeirão João Leite	Goiânia, Terezópolis, Anápolis
15	RVS do Meia Ponte	Goiatuba
16	F.N. de Silvânia	Silvânia

8.1.7. Comunidades Tradicionais

Conforme a Portaria SECIMA/GAB Nº 36 DE 16 de fevereiro de 2017, usinas fotovoltaicas a serem instaladas dentro de UCs, ou no raio de 3 km destas, devem apresentar o EIA/RIMA. O mesmo ocorre para a instalação em locais em que venham a gerar impactos socioculturais diretos que impliquem inviabilização de comunidades ou sua completa remoção. Esta limitação é, portanto, aplicada em terras indígenas, geridas e protegidas de acordo com a Lei Federal nº 6.001, de 19 de dezembro de 1973, bem como quilombolas, com preservação prevista na Constituição Federal.

As áreas de comunidades tradicionais indígenas e quilombolas foram levadas em conta neste estudo como territórios não passíveis de instalação de usinas fotovoltaicas centralizadas, que requerem espaço, remoção de vegetação de médio e grande porte e modificação no uso do solo.

8.2. PESOS ATRIBUÍDOS AOS FATORES

Cada atributo citado anteriormente influenciará no julgamento do potencial de instalação de usinas fotovoltaicas nas áreas, cuja análise se dá através do cruzamento de todos os valores e pesos, resultando em um potencial para área mapa do estado. Portanto, no julgamento com relação ao distanciamento de cada fator, os pixels podem ter o valor mínimo de 0, que representa as áreas mais distantes, e máximo de 1, que representa áreas mais próximas. Para os fatores restritivos, que consistem em Unidades de Conservação e Comunidades Tradicionais, a abordagem será diferente na análise multicritério, de tal forma que não há a necessidade de determinação de peso para estes e os seus valores poderão ser 0 ou 1, indicando a presença ou não destas áreas de uso restrito.

Os pesos foram determinados levando em consideração os modelos propostos nos trabalhos realizados por Janke (2010) e Vicari (2012). Os critérios e seus pesos atribuídos estão apresentados no Quadro 4, o qual pode ser visto a seguir.

Quadro 4- Valores possíveis e pesos de cada atributo considerado no estudo.

ATRIBUTO	VALORES POSSÍVEIS	PESO
Declividade	0 a 1	15%
Potencial solarimétrico	0 a 1	20%
Distância de centros urbanos	0 a 1	25%
Distância de linhas de transmissão	0 a 1	25%
Distância de estradas	0 a 1	15%
Unidades de Conservação Comunidades Tradicionais Centros Urbanos	0 ou 1	-

Diferentemente dos estudos de Jake (2010) e Vicari (2012), aplicados no Colorado e em Rio Grande do Sul respectivamente, o peso do atributo “potencial solarimétrico” neste estudo será menor, pois existe boa distribuição e disponibilidade de energia solar no estado de Goiás, de tal forma que fatores ligados à infraestrutura se tornam mais decisivos quanto ao potencial de instalação de usinas fotovoltaicas.

O atributo considerado de maior peso neste estudo foi a distância de linhas de transmissão, que se trata da infraestrutura essencial e de maior custo e dificuldade em se estabelecer, podendo talvez inviabilizar a instalação da usina. O segundo fator mais influente considerado foi a distância de centros urbanos, tendo em vista que quanto mais distante dos consumidores, mais se gastará para garantir o transporte da energia. Temos em seguida, o potencial solarimétrico, que traz a informação de energia disponível em termos de radiação solar.

O próximo fator é a distância de estradas, que influencia na facilidade de acesso ao campo e pode acrescer no custo de transporte para instalação e manutenção e caso seja necessário, adiciona mais um custo em termos de infraestrutura a ser instalada.

Por último temos a declividade, que diz sobre as limitações de instalação em campo e que tem influência no custo de implantação da usina, elevado pelas obras de corte e aterro que, entretanto, são menos onerosas que a construção de estradas e linhas de transmissão.

8.3. PREPARAÇÃO DOS DADOS

Para tornar os dados apropriados para a realização da análise multicritério, primeiramente foi necessário realizar a padronização destes, através do processo de normalização, para que todos eles estivessem em escala comparável, com valores variando entre 0 e 1. Este procedimento foi realizado através da ferramenta "Cálculo de Raster", aplicando-se a Equação 1 para cada atributo, que consiste basicamente, na divisão de todos os valores do seu conjunto pelo maior presente dentre estes.

$$Ai = \frac{a_i}{a_{máxi}} \tag{1}$$

Sendo,

A_i = novo valor padronizado do atributo i;

a_i = valor original do atributo i;

$a_{máxi}$ = maior valor observado no conjunto de dados do critério i;

Tendo em vista que quanto menor o valor para distância de estradas, linhas de transmissão, centros urbanos, declividade, melhor é a situação, é necessário além da normalização, realizar a inversão dos valores calculados para estes atributos em específico. Para isso foi aplicada a Equação 2, na ferramenta de "Cálculos de Raster".

$$A'i = 1 - A_i \tag{2}$$

Sendo,

A'_i = valor padronizado corrigido (invertido) do atributo *i*;

A_i = valor do atributo *i* após a etapa de padronização;

8.4. ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A Análise Multicritério foi a abordagem escolhida, pois possibilita agregar diferentes critérios, sem inter-relação alguma, em um resultado prático, podendo auxiliar em tomadas de decisão (MOILOA, 2009; CHAKHAR; MOUSSEAU, 2007). Para isso, foi utilizada a metodologia de Combinação Linear Ponderada (CLP).

A Combinação Linear Ponderada (CLP) é um método flexível, através da qual cada aspecto, ou fator, avaliado teve sua relevância expressa nos pesos determinados anteriormente. Estes pesos foram levados em conta no momento da combinação das camadas, resultando em um mapa contínuo e apropriado para tomada de decisões. (VICCARI, 2012)

Utilizando a ferramenta Raster Calculator, obteve-se o potencial (P) das áreas para implantação de usinas fotovoltaicas, conforme a Equação 3 abaixo:

$$P = \left(\sum_{i=1}^{n} (A'i.Wi)\right) \quad (3)$$

Sendo,

P = potencial da área para a implantação das usinas solares;

A'*i*= atributos padronizados e invertidos;

W*i* = pesos determinados para cada atributo;

Após o cálculo do potencial de instalação das usinas fotovoltaicas em todas as áreas do estado de Goiás, foram inclusos os fatores restritivos, resultando assim em um mapa com a análise continua do terreno, exceto nestas áreas de uso restritivo, cujo potencial é nulo.

9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

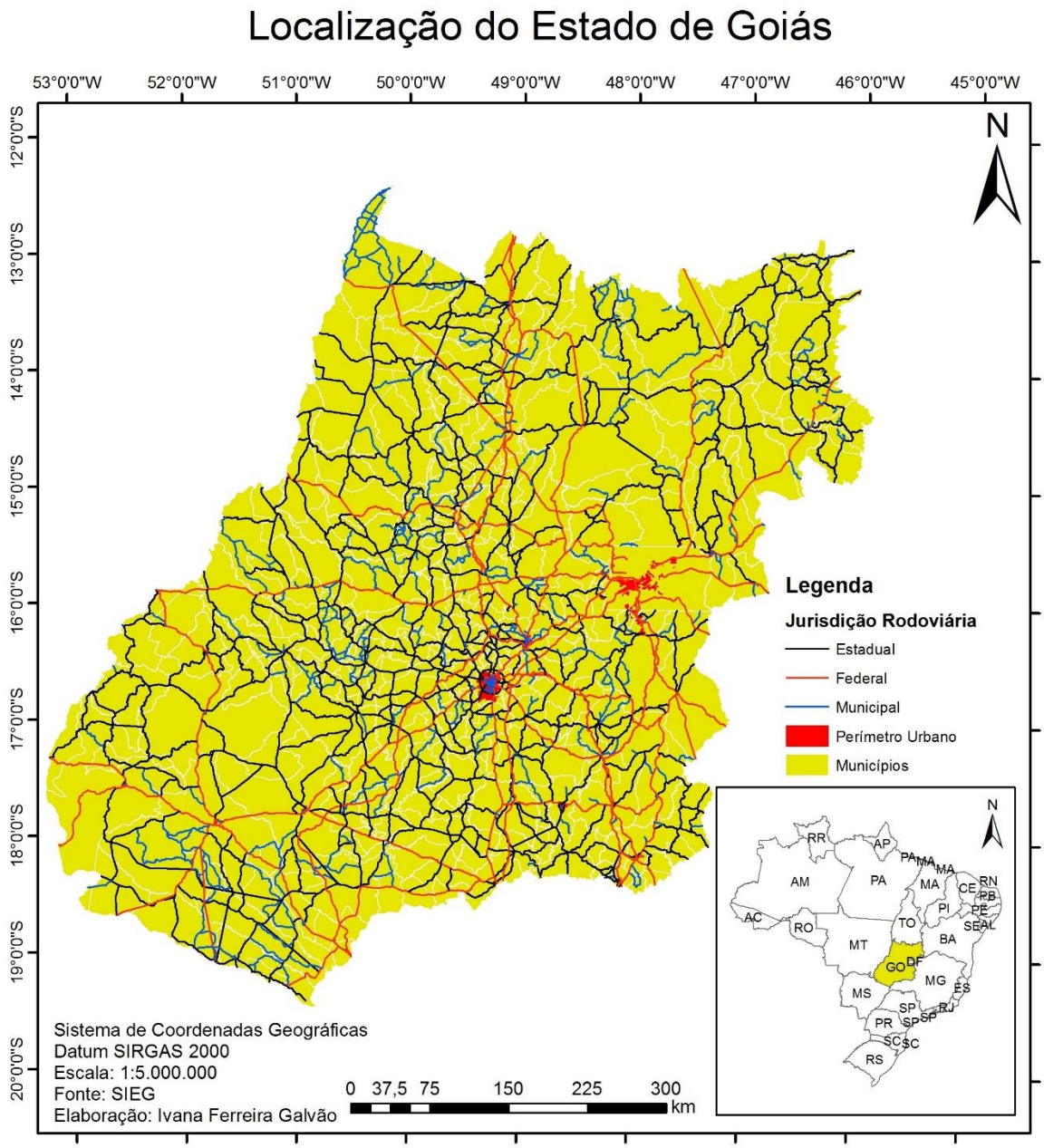
9.1. MAPA TEMÁTICOS

9.1.1. Malha Viária e Localização

O mapa de Localização do Estado de Goiás apresentado na Figura 7 indica também malha viária que interliga os municípios. As rodovias contemplam principalmente os grandes centros urbanos, como pode ser observado no município de Goiânia, em

vermelho no centro do estado, que é um grande centro urbano e possui diversas vias de escoamento. Estes traçados de rodovias municipais, estaduais e federais foram utilizados na a avaliação de distância de estradas.

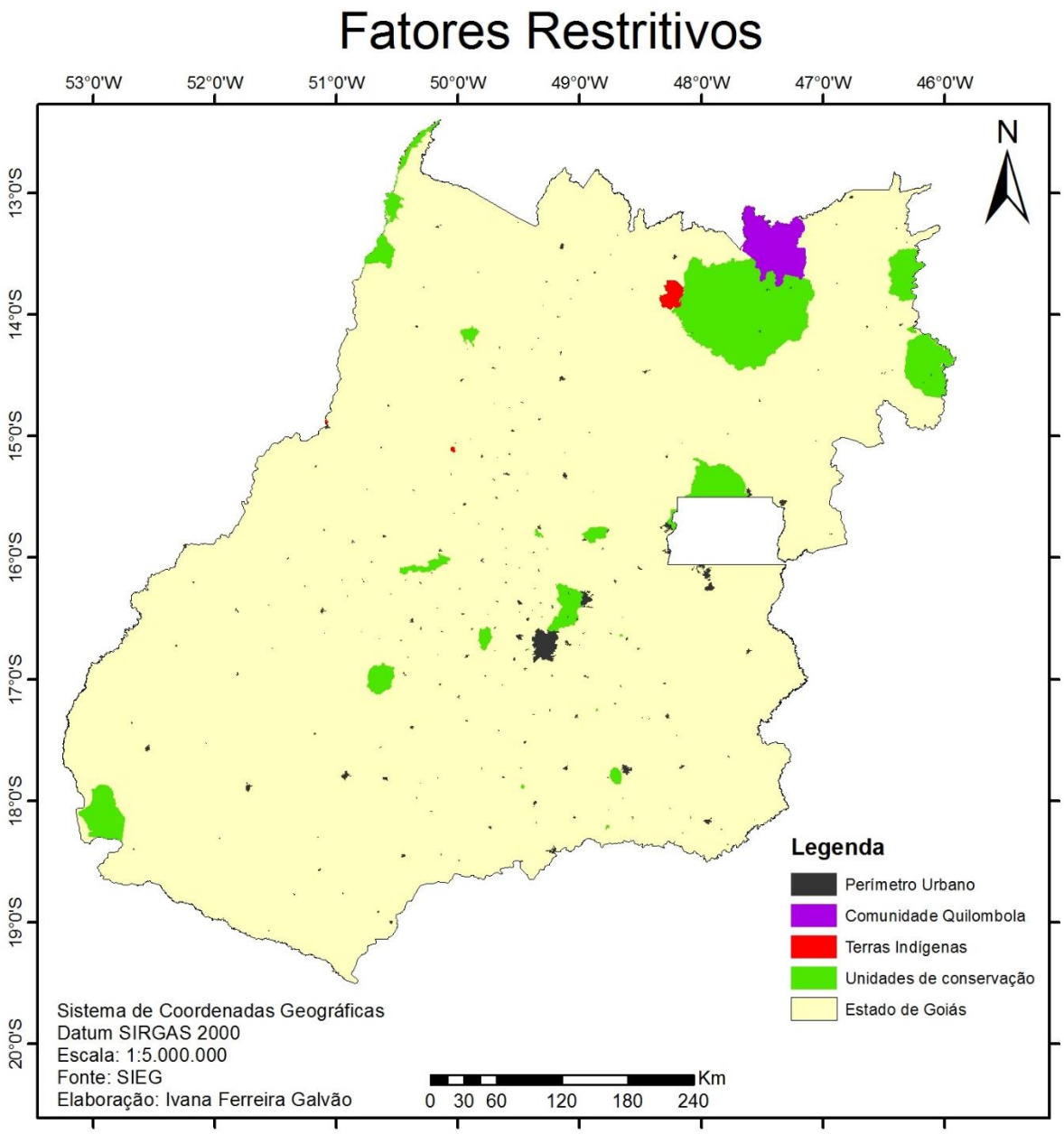
Figura 7- Mapa de Localização do Estado de Goiás com locação de rodovias.



Locais mais próximos destes traçados de malha viária tiveram uma pontuação maior neste fator, enquanto locais mais distantes foram avaliados com menor potencial, que é a realidade de áreas na extremidade oeste e nordeste do estado.

9.1.2. Mapa de Fatores Restritivos

Figura 8- Mapa de Fatores Restritivos.

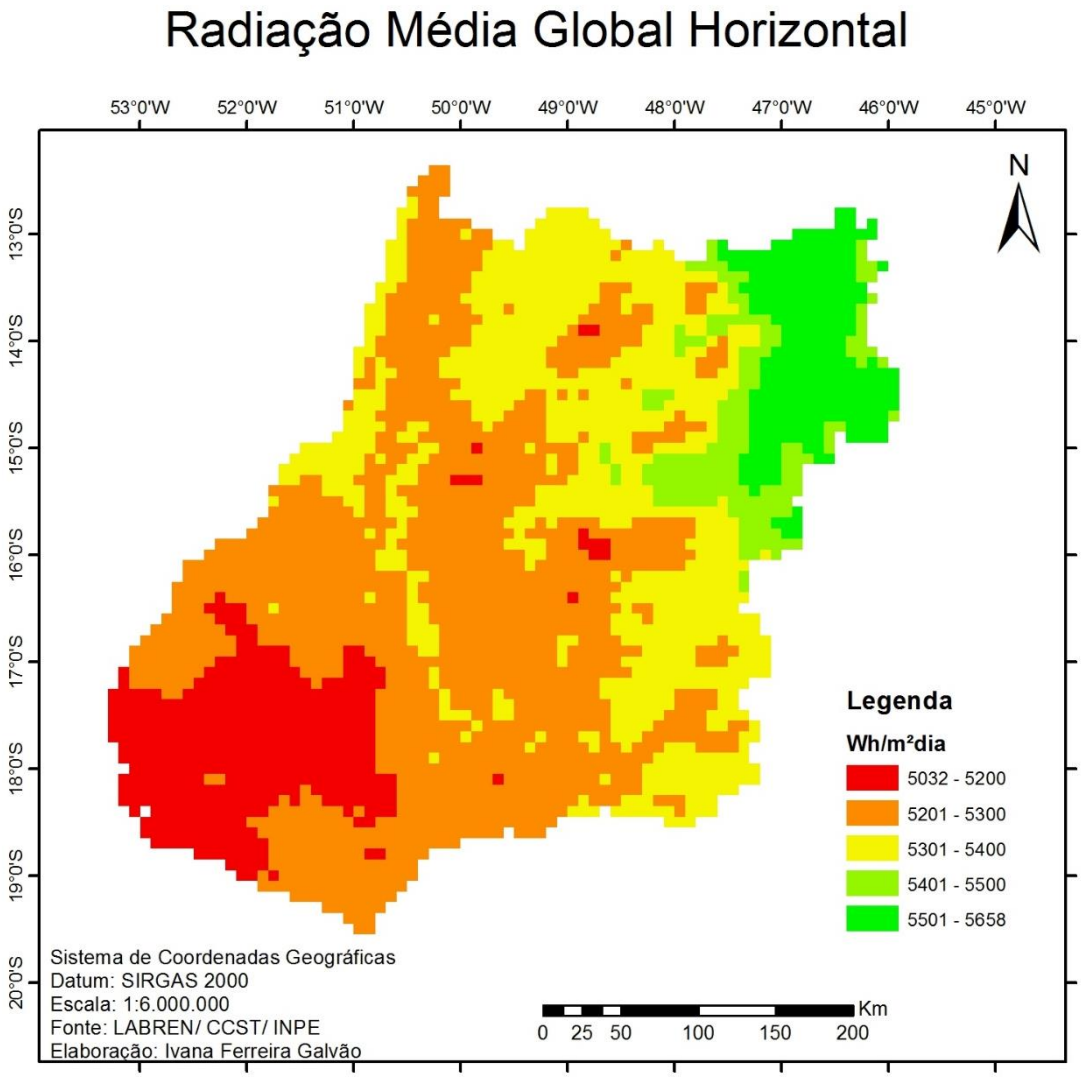


Os *shapefiles* de fatores restritivos considerados no estudo se encontram reunidos no mapa temático na Figura 8, que traz a localização dos perímetros urbanos, comunidades quilombolas, terras indígenas e Unidades de Conservação inseridas no

estado de Goiás. Entretanto, vale lembrar que existem muito mais áreas restritivas além das mapeadas, que não foram disponibilizadas no conjunto dos bancos de dados, como a Área de Proteção Ambiental (APA) do Encantado no município de Baliza, Estação Ecológica Chapada de Nova Roma no município de Nova Roma, Parque Estadual do João Leite nos municípios de Goianápolis, Nerópolis, Goiânia e Terezópolis de Goiás, entre outros.

9.1.3. Radiação

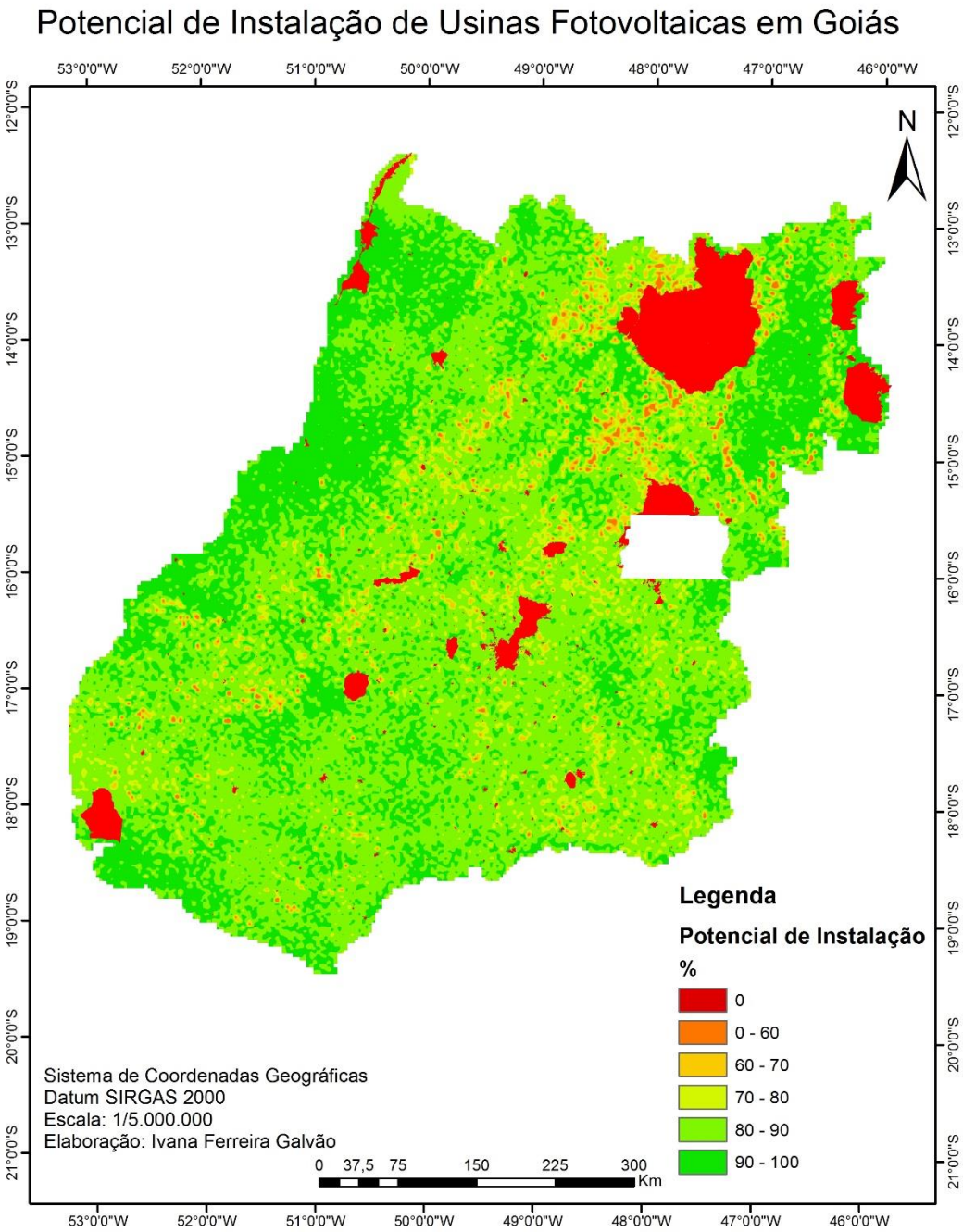
Figura 9- Mapa de Radiação do estado de Goiás



Conforme o Mapa da Radiação Média Global Horizontal do estado de Goiás presente na Figura 9, a região nordeste do estado é a mais privilegiada em termos de disponibilidade de radiação solar, enquanto a região sudoeste de Goiás apresenta as menores taxas de incidência. A radiação no estado tem valor mínimo de 5.032 Wh/m³.dia e máximo de 5.658 Wh/m³.dia, portanto, a variação é pequena e no geral tem-se boa radiação solar. Por fim, é possível observar que a maior parte do território recebe uma faixa de 5.201- 5.300 Wh/m³.dia.

9.2. POTENCIAL DE INSTALAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS

Figura 10- Mapa de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas do Estado de Goiás.



Considerando todos os fatores e seus pesos, bem como as áreas restritivas, foi obtido o mapa de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas no Estado de Goiás, presente na Figura 10. A partir deste mapa, foram calculadas as áreas de acordo com as faixas de potencial, que se encontram presentes no Quadro 5.

Quadro 5- Potencial de instalação de usinas fotovoltaicas no território goiano.

Intervalo de Potencial de Instalação	Área (km²)	Representatividade Territorial no Estado (%)
0%	22.064	6,2
0% - 60%	4.614,6	1,3
60% - 70%	8.224,9	2,3%
70% - 80%	28.490,2	8,0%
80% - 90%	182.868,1	51,2%
90% - 100%	110.624,9	31%

Este mapa evidencia o grande potencial de instalação no estado de Goiás, que segundo o Quadro 4, possui apenas 6,2% (equivalente a 22.064 km²) do território não apto para a instalação destas usinas, restando, portanto 93,8% da área para este fim. Além disso, 92,5% do estado possui potencial de instalação acima de 60%. Outro dado positivo é que a maior parte da sua área (182.868,1 km²) apresenta um potencial de 80% a 90%, representando 51,2% do território e considerável parte do estado (31%) possui potencial de 90% a 80%.

Por fim, observando o mapa é possível constatar que diante da abordagem deste estudo, as maiores áreas com potencial ótimo, compreendido entre 90% a 100%, se encontram no extremo nordeste do estado, noroeste e oeste.

10. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do processamento de dados proposto neste estudo, bem como da geração do mapa de potencial de instalação de usinas fotovoltaicas no estado de Goiás, foi possível concluir que o estado, no geral, apresenta alto potencial de instalação. Além disso, mesmo considerando todas as unidades de conservação como inapropriadas para a essa atividade, 93,8% do território possui potencial, sendo que a maior parte dele tem potencial compreendido entre 80%- 90%.

Entretanto, o mapa de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas no Estado de Goiás deve ser compreendido de forma restrita e utilizado com cautela, já que é oriundo do cruzamento de diversos dados com diferentes referências, datas, escalas e resoluções. Além disso, antes da instalação de um empreendimento energético é necessário verificar todas condições a nível local, investigando desde a regularidade administrativa do terreno às condições de vegetação e fauna.

Diante disso, apesar de ser uma análise funcional e complexa, que leva em consideração múltiplos atributos, o mapa resultante deste estudo não deve ser levado em conta como a ferramenta principal para tomada de decisão, mas como um guia macro para planejamentos e um passo em prol da discussão da instalação de energias renováveis em grandes escalas.

11. REFERÊNCIAS

ANEEL. **Banco de informações de geração**: capacidade de geração do Brasil. 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> Acesso em: 18 de maio de 2017.

CALIJURI M. & CUNHA D. **Engenharia Ambiental**: conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. INPE, 1996. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/anatomia.pdf> Acesso em 24 de junho de 2017.

CÂMARA, G. et al. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em :<http://197.249.65.74:8080/biblioteca/bitst ream/1234 5678 9/570/1/publicacao.pdf > Acesso em: 19 de maio de 2017.

CHAKHAR, S. & MOUSSEAU, V. **An algebra for multicriteria spatial modelling**. Paris, França: Elsevier, 2007. Computers, Environment and Urban Systems 31, p 572–596 - Disponível em:< https://pdfs.semanticscholar.org/8edc/6553 667e6fbf2afe493e9190a14c8e47af6e.pdf> Acesso em 28 de junho de 2017.

EASTMAN, R. **Multi-criteria evaluation and GIS**. In: Longley P, Goodchild MF, Maguire DJ, Rhind D, editors. Geographical information systems; 1999. p.

493 e 502. Disponível em: < http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged /files/ch35.pdf>. Acesso em: 28 de junho de 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia, 2012.

ENIO, B.P. et al. **Atlas brasileiro de energia.** São José dos Campos- INPE, 2017. 80p.

FARIAS, L. M. & SELLITTO M. A. **Uso da Energia ao longo da história:** evolução e perspectivas futuras. Revista Liberato, Novo Hamburgo, jan./jun. 2011. v. 12, n. 17, p. 01-106.

FERREIRA, N. C. **Apostila de sistema de informações geográficas**. CEFET-GO, 2006. Disponível em: <http://www.geolab.faed.udesc.br/sites_disciplinas/geoprocessamento_aplicado_ao_planejamento/docs/apostila_sig%5B1%5D.pdf> Acesso em 23 de junho de 2017.

FILHO, W.P.B. *et al*. **Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil**: impactos ambientais e políticas públicas. Revista Gestão Sustentável Ambiental, Florianópolis, ,2015. n. esp, p.628-642.

JANKE, J. R. **Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado**. Estados Unidos, Elsevier, 2010. Renewable Energy 35 (2010) p 2.228 a 2.234. Disponível em: < http://people.umass.edu/bethanyb/Janke,%202010.pdf > Acesso em: 27 de junho de 2017.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO. **PAC já executou 53,1% para o quadriênio 2015-2018**. 2017. Disponível em: < http://www.pac.gov.br/noticia/6aba8dc0 >. Acesso em: 15 de maio de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia no mundo:** matrizes energéticas e matrizes elétricas, 2014- 2015. 2016. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14+-+Energia+no+Mundo+-+Matrizes+e+Indicadores+2016+-+anos+ref.+2014+-+15+%28PDF%29/fe6a2785-1d44-4dd5-bf54-42a7353a4d51;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26 BB66878C9.srv154>. Acesso em: 30 de junho de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Hidrelétrica Balbina inicia projeto com flutuadores para gerar energia solar**. Março, 2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticas/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/hidreletrica-balbina-inicia-projeto-com-flutuadores-para-gerar-energia-solar> Acesso em: 28 de junho de 2017.

MOILOA, B. H. E. **Geographical information systems for strategic wind energy site selection**. Dissertação (Master of Science in Geographical Information Systems) – Faculty of Earth and Life Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, 2009.

MULVANEY, D. **Solar's green dilemma.** IEEE Spectrum, 2014. Volume 51, issue 9, pag. 30 – 33.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no brasil**: situação e perspectivas. Câmara dos Deputados, 2017– Estudo Técnico. 46p.

OLIVEIRA, S.H.F. & Zilles, R. **Grid-connected photovoltaic systems***:* The Brazilian experience and the performance of an installation. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 9. 2011.

OLIVEIRA, W. N. **Avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica e do reservatório Ribeirão João Leite**. Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 2013. 179p.

POTTMAIER, D. et al. **The Brazilian energy matrix**: From materials science and engineering perspective. Elsevier. Renewable and Sustainable Energy Reviews,19 2013 678–691. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.063.> Acesso em: 06 de maio de 2017.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos:** *o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública no Brasil.* Florianópois, UFSC / LABSOLAR, 2004. 1º edição 118p.

SECIMA. **Programa goiás solar**- *Eixos Interdisciplinares de Atuação.* 2017. Disponível em: <http://goiassolar.secima.go.gov.br/?page_id=112> Acesso em 18 de maio de 2017.

SECIMA. **Portaria SECIMA/GAB Nº 36** de 16 de fevereiro de 2017.

SILVA, R. M. Energia Solar: dos incentivos aos desafios. Texto para discussão nº 166. Brasília, Senado Federal, 2015. Disponível em: < https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166> Acesso em 17 de junho de 2017.

SHAH, A. *et al*. **Photovoltaic power generation.** Grã-Bretanha. Plasma, Physics and Controled Fusion, 1992. vol.34, no. 13, p. 1837a 1844.

Solar Energy Firms Leave Waste Behind in China. **The Washington Post Company,** 2008. Disponível em: < http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2008 /03/08 /AR2008030802595.html> Acesso em: 20/06/17.

VICARI, M. B. **Uso de SIG e análise multicritério para levantamento do potencial de implantação de usinas eólica e solar no Rio Grande do Sul**. Universidade de Passo Fundo, 2012. Disponível em: http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2012-2/MATHEUS%20BONI%20VICARI.pdf Acesso em: 27 de abril de 2017.

YAMAMOTO, E. G. **Estudo de viabilidade de instalação de usinas fotovoltaicas em diferentes regiões do Brasil**. Londrina, Universidade Estadual de Londrina, 2015. Disponível em: < http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2015-ErikaGomesYamamoto.pdf> Acesso em: 28 de junho de 2017.

ZAMBON, K. L. et al. **Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG.** Pesquisa Operacional, v.25, n.2, p.183-199, Maio a Agosto de 2005.