



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE**

JÚLIA SANTOS LEITE BRITO

Belo Horizonte

2021

JÚLIA SANTOS LEITE BRITO

**MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Belo Horizonte

2021

JÚLIA SANTOS LEITE BRITO

**MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICANA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 11 de fevereiro de 2022

Banca examinadora:



Prof. Dr. Carlos Wagner G Andrade Coelho - Orientador



Prof. DSc. Evandro Carrusca de Oliveira



Prof. MSc. Gilberto Cifuentes Dias Araújo

RESUMO

S. L. BRITO, JÚLIA. **MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE**. 2022. 39 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

A energia fotovoltaica além de ser uma fonte de energia considerada renovável, apresenta inúmeras vantagens pelo fato do território brasileiro apresentar elevados índices de irradiação solar. O presente estudo se justifica, uma vez que o levantamento de dados do estado da arte a respeito do tema é primordial para estimular e incentivar a implementação de energia solar fotovoltaica. O trabalho em questão objetiva definir variáveis importantes na geração de energia solar para identificar áreas potenciais de geração de energia na região metropolitana de Belo Horizonte - MG. O estudo utilizou técnicas de análise espacial, mais especificamente análise multicritério e a hierarquização dos dados pelo método AHP com dados georreferenciados em Sistemas de Informações Geográficas. As variáveis definidas foram divididas em 5 classes para avaliação do potencial de geração de energia em ‘Pouco favorável’, ‘Levemente favorável’, ‘Favorável’, ‘Muito favorável’ e ‘Extremamente favorável’. Os resultados encontrados apontaram as áreas mais favoráveis à geração de energia solar dentro da região de estudo. Observou-se pelos mapas gerados uma grande região majoritariamente favorável. Além disso, foi possível realizar a avaliação do método de análise utilizado, o Analytic Hierarchy Process, o qual mostrou-se um excelente recurso de ponderação por sua extensa aplicação, fácil manuseio e alta precisão se bem aplicado. Ressalta-se ainda, que o estudo deve ser continuado incorporando novos elementos e escalas mais altas para atingir resultados cada vez melhores.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica. Georreferenciamento. Análise Multicritério (AHP).

ABSTRACT

S. L. BRITO, JÚLIA.. **MAPPING PHOTOVOLTAIC ENERGY POTENTIAL GENERATION IN THE METROPOLITAN REGION OF BELO HORIZONTE..** 2022. 39 pages. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

Photovoltaic energy, in addition to being a renewable energy source, has numerous advantages due to the fact that the Brazilian territory has high levels of solar irradiation. The present study is justified, by the collection of state-of-the-art data on the subject is essential to stimulate and encourage the implementation of photovoltaic solar energy. The work in question aims to define important variables in the generation of photovoltaic solar energy to identify potential areas of photovoltaic energy generation in the metropolitan region of Belo Horizonte - MG. Such analysis was done through the use of hierarchy analysis techniques in order to represent this information in a georeferenced way and with the application of Geographic Information Systems. The defined variables were divided into five classes to assess the potential for energy generation in Little favorable, Slightly favorable, Favorable, Quite favorable and Totally favorable. By superimposing the maps was elaborated and after applying the appropriate weights found in the hierarchy analysis for each of the parameters, the result was a mostly favorable region. In addition, it was possible to evaluate the analysis method used, the Analytic Hierarchy Process, which proved to be an excellent weighting resource due to its extensive application, easy handling and high precision if properly applied.

Key words: Photovoltaics. Geoprocessing. Analytic Hierarchy Process (AHP).

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PREVISÃO DE CRESCIMENTO DA MATRIZ ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA DO ANO DE 2013 A 2050.....	13
FIGURA 2 - INCLINAÇÃO DOS RAIOS SOLARES SOBRE UMA SUPERFÍCIE.....	18
FIGURA 3 - ESCALA DE SAATY.....	19
FIGURA 4 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
FIGURA 5 - INSOLAÇÃO NA RMBH RECLASSIFICADA.....	28
FIGURA 6 - NEBULOSIDADE NA RMBH RECLASSIFICADA.....	29
FIGURA 7 - UNIDADES DE CONSERVAÇÃO PRESENTES NA RMBH RECLASSIFICADAS.....	30
FIGURA 8 - USO DO SOLO NA RMBH RECLASSIFICADO.....	31
FIGURA 9 - USO DO SOLO NA RMBH.....	31
FIGURA 10 - ORIENTAÇÃO DA ENCOSTA DA RMBH RECLASSIFICADA.....	32
FIGURA 11 - DECLIVIDADE NA RMBH RECLASSIFICADA.....	33
FIGURA 12 - ÁREAS NA RMBH COM POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR.....	34
FIGURA 13 - SOBREPOSIÇÃO DAS UCS COM A RELEVÂNCIA DE INSOLAÇÃO NA RMBH.....	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	23
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	24
TABELA 3 - IMPORTÂNCIA ENTRE PARES DE PARÂMETROS.....	25
TABELA 4 – ORDEM DE PRIORIDADE DOS PARÂMETROS.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

GD: Geração Distribuída

ICMS: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

PIB: Produto Interno Bruto

RMBH: Região Metropolitana de Belo Horizonte

SIG: Sistemas de Informações Geográficas

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

UC: Unidades de Conservação

IDE-Sisema: Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

MDE: Modelo Digital de Elevação

AHP: Analytic Hierarchy Process

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
OBJETIVOS.....	14
Objetivo Geral.....	14
Objetivos Específicos	14
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
Energias Renováveis.....	15
Energia Solar Fotovoltaica no Brasil	15
Geração Distribuída	16
Radiação Solar	17
Sistemas de Informações Geográficas	18
Análise Multicritério.....	18
Escala de Saaty.....	19
METODOLOGIA.....	20
Método de Abordagem.....	20
Área de Estudo.....	20
Parâmetros Relevantes	22
Obtenção dos dados.....	22
Software QGIS.....	23
Classificação dos parâmetros.....	23
Análise Multicritério - Método AHP	25
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
Insolação.....	28
Nebulosidade.....	28
Unidades de Conservação.....	29
Uso de solo.....	30
Orientação da encosta.....	32
Declividade.....	32

Área potencial para geração de Energia Fotovoltaica na região metropolitana de Belo Horizonte.....	33
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

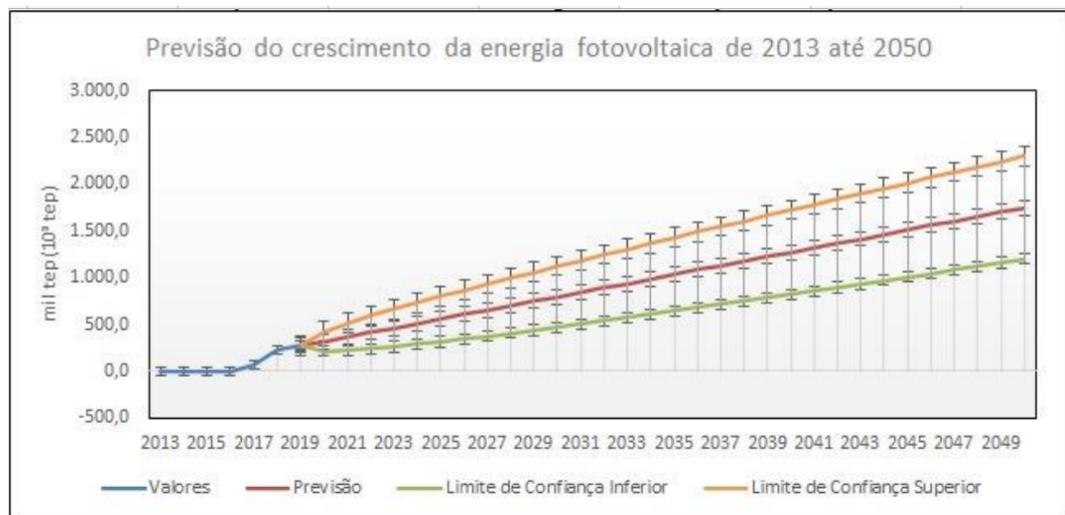
Faz-se necessário investir em fontes renováveis de energia devido ao aumento exponencial da população mundial nas últimas décadas e consequente alargamento na exploração de recursos de matriz fóssil, a qual é sabido que se trata de um recurso esgotável (DE OLIVEIRA; MARIO; PACHECO, 2021). Além da geração de energia oriunda de combustíveis fósseis, o Brasil se encontra bastante dependente de sistemas que têm como base recursos hídricos, com 62,3% de hidrelétricas (CAMPOS, 2021; DE OLIVEIRA; MARIO; PACHECO, 2021). Tal fonte, apesar de ser renovável, apresenta fortes impactos ao ambiente onde é instalada, sejam eles relativos a biodiversidade local, que é amplamente prejudicada pelas áreas de inundação, ou relativos a questão socioambiental, já que há a necessidade de retirada da população dessas áreas e realocação para regiões próximas.

A energia solar fotovoltaica surge como uma boa alternativa pelo fato de sair da problemática apresentada anteriormente e ainda possibilitar a redução da sobrecarga no sistema de geração centralizado de energia. O modelo de energia distribuído, se difere do centralizado por gerar energia junto ou próximo dos consumidores e tal modelo é bastante vantajoso por economizar investimentos em transmissão e reduzir perdas nestes sistemas, justamente por essa proximidade, melhorando assim, a estabilidade do serviço de energia elétrica como um todo (DE OLIVEIRA; MARIO; PACHECO, 2021).

A geração distribuída (GD) no Brasil cresce constantemente e ocorreu um grande incentivo por meio do disposto na resolução 687/2016 em conjunto com o convênio Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) 16/15 o qual isentou não só o imposto cobrado para energia solar mas também o relativo à compra de materiais para este fim. Segundo dados da Aneel (2019), houve um salto considerável no número de conexões de geração distribuída no Brasil nos últimos anos, passando de 13.999 em 2017 para 35.567 (2018) e 119.533 em 2019, sendo a geração de energia fotovoltaica, representante de 99,84% do número total de GD que também inclui a geração distribuída por energia térmica, hidráulica e eólica (ANEEL, 2019).

De acordo com dados dos últimos 3 anos De Oliveira, Mario, Pacheco (2021) realizou um estudo no qual embasou o crescimento da energia fotovoltaica no Brasil fazendo uma correlação entre o progresso do país e aumento do Produto Interno Bruto (PIB) em escala semelhante a países como a Alemanha, a qual apresentou um crescimento significativo da mesma matriz energética. Foi feita uma projeção do crescimento da energia fotovoltaica de 2013 ao ano de 2050, ano a ano, conforme a figura abaixo.

Figura 1 - Previsão de crescimento da matriz energética fotovoltaica do ano de 2013 a 2050.



Fonte - De Oliveira, Mario, Pacheco (2021).

Todo e qualquer processo industrial apresenta, inevitavelmente, impactos ao meio ambiente, gerando resíduos em todas as etapas de sua produção. O sistema fotovoltaico apresenta, segundo Barbosa Filho, Wilson Pereira, et al. (2015), impactos ao meio físico como os oriundos de um canteiro de obras de uma grande usina, por exemplo. Além disso, ocorre a geração de gases/poeiras pelo manuseio de materiais terrosos e do andamento das obras, incluindo emissão de CO₂ pelo aumento na circulação de veículos para instalação da usina no local. Ademais, são consideráveis os impactos provenientes da produção das placas fotovoltaicas. Contudo, Barbosa Filho, Wilson Pereira, et al. (2015) afirma que em uma análise generalizada, os impactos negativos apresentados por sistemas fotovoltaicos são bastante reduzidos quando comparados com os impactos positivos e as vantagens de sua implantação. Cabe aos profissionais da área ambiental, incluindo engenheiro ambientais e

sanitaristas, avaliem quais desses impactos têm maior relevância no contexto do qual estão inseridos.

Segundo De Oliveira, Mario, Pacheco (2021) o Brasil possui recursos naturais de radiação solar graças a sua porção privilegiada no globo terrestre e isso incentiva ainda mais políticas governamentais favoráveis à energia fotovoltaica. Além disso, internacionalmente falando, há uma preocupação geral com a redução de gases atmosféricos que contribuem com o aquecimento global, fazendo com que essa forma de energia seja uma das mais promissoras, como fonte de energia elétrica.

Por esta relevância apresentada, o presente estudo se justifica, uma vez que o levantamento de dados do estado da arte a respeito do tema é primordial para estimular e incentivar a implementação de energia solar fotovoltaica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O trabalho proposto pretende discutir e avaliar áreas com potencial de geração de energia solar fotovoltaica na Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG (RMBH).

2.2 Objetivos Específicos

Para amparar o objetivo central deste trabalho tem-se ainda os seguintes objetivos específicos.

1. Estudar e definir as variáveis importantes na geração de energia solar fotovoltaica;
2. Georreferenciar as variáveis que condicionam a geração de energia fotovoltaica;
3. Aplicar métodos e técnicas estatísticas para a correlação entre as variáveis e a região de estudo; e
4. Aplicar técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para identificação espacial do potencial de geração de energia solar.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem como objetivo apresentar um panorama geral dos conceitos abordados ao longo deste trabalho, de forma que os conceitos fundamentais para o entendimento a respeito da energia fotovoltaica e das ferramentas de SIG sejam abordados de forma aprofundada.

3.1 Energias Renováveis

As fontes de energia são divididas em não renováveis e renováveis sendo que as primeiras delas são aquelas em que a capacidade de recuperação ocorre apenas em período geológico, como a gasolina e o gás natural, por exemplo.

Energias consideradas como energia de fontes renováveis são aquelas que o tempo de recuperação é menor que o tempo de uso. As consideradas energias limpas, como energia eólica, hidráulica, biomassa e geotérmica (PACHECO, Fabiana, 2006). Essas estão presentes no território brasileiro de forma abundante pelo extenso território do país, que apresenta grande disponibilidade de recursos naturais como o vento, radiação solar e riqueza de recursos hídricos. Dessa forma, o Brasil mostra-se local com potencial abundante de produção desse tipo de energia (BORGES, 2017).

3.2 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

Se comparado a países europeus, local de forte uso da energia solar fotovoltaica, o território brasileiro apresenta elevados índices de irradiação solar. Em contrapartida, o avanço tecnológico no Brasil passa por períodos oscilatórios, sendo bastante incentivada pelo estado em certos períodos e perde força em outros momentos.

Ocorreu na década de 1950 o primeiro Simpósio Brasileiro de Energia Solar, sendo desenvolvido no mesmo período as primeiras células fotovoltaicas de silício cristalino no país, usadas para fabricação de módulos fotovoltaicos, ainda com baixíssima eficiência. Duas décadas depois, incentivado pela crise do petróleo, o avanço da tecnologia no Brasil era comparado com o de países da Europa. Alguns anos mais tarde, foram instaladas duas fábricas de silício cristalino no país, porém, pela falta de incentivos, estas reduziram

consideravelmente sua produção. Atualmente o Brasil conta com apenas uma indústria em funcionamento, localizada em Campinas, no estado de São Paulo (BRASIL, 2014).

Nas décadas de 1980 e 1990 ocorreu em universidades públicas e privadas o desenvolvimento de silício em sua forma mais pura para a produção de células, mas até este período, em baixa escala. No século XXI, o Governo Federal criou um fundo de investimentos no setor de energia, o Fundo Setorial de Energia, o que impulsionou a pesquisa neste setor, resultando em um crescimento da área no país (BRASIL, 2014).

A partir daí foram elaboradas legislações regulamentadoras, sendo publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) a Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012 que forneceu aos consumidores a possibilidade de realizar a troca de energia com a concessionária, sendo estabelecidas regras para o sistema que compensatório de energia. Segundo esta resolução o sistema de compensação de energia elétrica é definido como o sistema o qual, através do empréstimo gratuito, a energia ativa injetada pela unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída é cedida à distribuidora local para ser posteriormente compensada no consumo automático de energia elétrica da rede pública (ANEEL, 2012).

Com a publicação da Resolução 482/2012 deu-se início no Brasil o aparecimento de empresas que atuam no setor de energia solar fotovoltaica, que, segundo Torres (2012) é uma energia renovável e limpa que funciona através da absorção de fótons para liberação de elétrons, gerando assim, energia elétrica. As células disponíveis no mercado utilizam silício (Si) como base de material para sua fabricação, o qual está presente nas células na forma de cristalino, policristalino e amorfo. Este, é um material condutor e tem como finalidade a extração de corrente elétrica no momento em que as células são expostas à luz solar (TORRES, 2012).

3.3 Geração Distribuída

De acordo com o decreto nº 5.136 de 30 de julho de 2004, geração distribuída é definida como a produção que é provida por empreendimentos, sejam eles, concessionárias, permissionários ou autorizados, de energia elétrica, conectada de forma direta no sistema de distribuição do comprador. A lei exclui a energia originada na forma de termelétrica, inclusive cogeração com eficiência energética que esteja abaixo de 75% e especifica que, no caso da

energia vinda de hidrelétrica, esta deve possuir capacidade de instalação inferior a 30 MW (BRASIL, 2004).

3.4 Geração Centralizada

Segundo Averlan, M. S. (2020), a geração centralizada é dada como a energia produzida em larga escala e comercializada por meio de leilões de energia, geralmente produzida em locais distantes de centros urbanos o que proporciona maiores gastos relativos a transmissão da energia até a fonte consumidora, quando comparado com a geração distribuída.

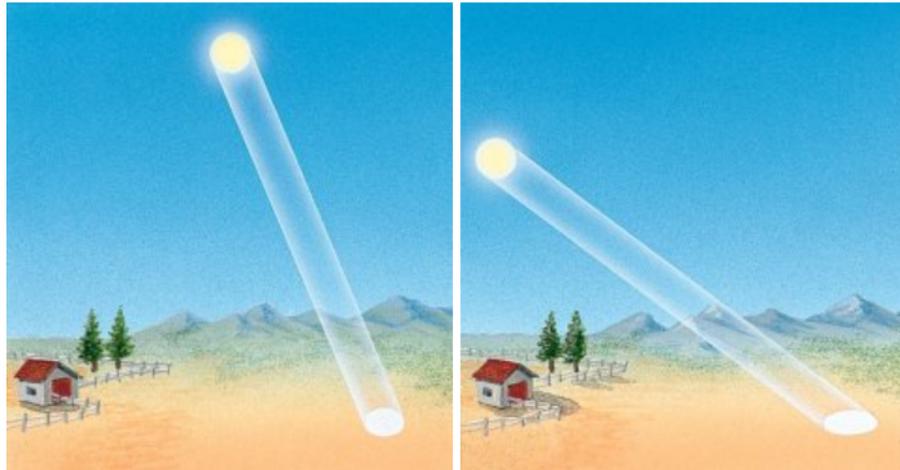
3.5 Radiação Solar

A energia que chega à superfície de forma perpendicular e por unidade de tempo ao longo de todo o dia é chamada de Constante Solar. A quantidade de energia disponível em cada local da Terra é diretamente ligada à posição na qual a área em questão se encontra no globo (SARAIVA; OLIVEIRA FILHO; MÜLLER, 2020).

O planeta se movimenta de forma a influenciar de forma direta a quantidade de energia disponível, já que este, além de girar em torno do seu próprio eixo em 24 horas, também gira em volta do Sol ao longo de 365 dias. A rotação com duração de um ano ocorre com uma inclinação relativa ao eixo norte-sul de $23,45^\circ$, o que explica a variação de energia incidente em diferentes pontos do globo terrestre (PEREIRA et al., 2017).

Saraiva, Oliveira Filho e Müller (2020) define Insolação Solar como a quantidade de energia do sol a qual incide sobre um determinado lugar na Terra já que, considerando que, a quantidade de energia que incide em diferentes pontos do planeta é a mesma, a Insolação depende apenas da área em que essa energia se distribui, ou seja, da inclinação com que os raios solares atingem a superfície do planeta considerando-se o local e data em questão. A Figura 2 ilustra bem este fato.

Figura 2 - Inclinação dos raios solares sobre uma superfície.



Fonte - Saraiva, Oliveira Filho e Müller (2020).

3.6 Sistemas de Informações Geográficas

Sistema de Informações Geográficas (SIG) é conhecido como um sistema que reúne informações de forma a distribuí-las geograficamente, facilitando assim a análise e interpretação dos dados. Com o auxílio do computador, são aplicadas ferramentas e programas criados para a manipulação desses dados, por meio da sobreposição de camadas, também conhecidas como *layers*. Dessa forma, os dados são facilmente combinados de maneira georreferenciada e, para isto, são normalmente utilizados dois formatos de representação, são eles: Vetor e Raster (AVERLAN, 2020).

Os vetores são caracterizados por três tipos sendo: ponto, linhas e polígonos. Armazenam um volume maior de dados atrelados a cada entidade em seu banco de dados. Já a estrutura raster, conhecida como matriz, é formada por células denominadas de pixel. Cada célula armazena apenas uma informação por vez, sendo necessária a multiplicação dessas camadas caso seja necessário armazenar novos atributos. Não existe um consenso de qual estrutura mais adequada e sim para cada situação sua aplicação é mais indicada (AVERLAN, 2020).

3.6.1 Análise Multicritério

O método consiste em uma ferramenta hierárquica desenvolvida para auxílio de decisões, no qual são elaboradas matrizes de comparação com resultados analisados de forma ponderada (SILVA; NUNES, 2009). Um dos métodos mais utilizados é conhecido como método Analytic

Hierarchy Process (AHP) ou método de análise hierárquica de processos, o qual foi desenvolvido por Thomas L. Saaty e tem como objetivo combinar variáveis par a par e classificá-las hierarquicamente. Para isto, Saaty apresentou na década de 70 a escala de intensidade como recomendação na aplicação desta metodologia.

3.6.2 Escala de Saaty

A Escala fundamental de Saaty recomenda uma escala graduada de 1 a 9 para a realização da comparação par a par, onde 1 é dado caso os dois parâmetros obtiverem o mesmo grau de importância e 9 se um deles apresentar extrema importância sobre o primeiro. A figura abaixo representa a pontuação e a forma de avaliação dos resultados para cada um dos graus de importância estabelecidos (SILVA, D. M. R., 2007).

Figura 3 - Escala de Saaty.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Fonte - Silva, D. M. R. (2007).

4 METODOLOGIA

4.1 Método de Abordagem

O presente trabalho é uma pesquisa de caráter exploratório no que diz respeito aos seus objetivos no qual foi realizado o levantamento de dados referentes à temática em questão. O trabalho teve como base a realização de uma pesquisa bibliográfica para levantar dados preferencialmente dos últimos cinco anos desde a data de sua elaboração.

A metodologia foi de forma a investigar os critérios mais relevantes para mapeamento de regiões com alto potencial de geração de energia fotovoltaica na região metropolitana de Belo Horizonte.

4.2 Área de Estudo

A região metropolitana de Belo Horizonte possui 34 municípios, Baldim, Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Caeté, Capim Branco, Confins, Contagem, Esmeraldas, Florestal, Ibirité, Igarapé, Itaguara, Itatiaiuçu, Jaboticatubas, Juatuba, Lagoa Santa, Mário Campos, Mateus Leme, Matozinhos, Nova Lima, Nova União, Pedro Leopoldo, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Rio Manso, Sabará, Santa Luzia, São Joaquim de Bicas, São José da Lapa, Sarzedo, Taquaraçu de Minas e Vespasiano. (MARCO AURÉLIO COSTA, 2015), contendo uma população de 4.883.970 habitantes, distribuídos num território de 9.472,6 km² segundo o último censo do IBGE de 2010 (BRASIL, 2017).

Sua geografia corresponde a uma diversidade de padrões climáticos e geomorfológicos e uma população em expansão que dão à região características peculiares. Sua estrutura topológica tem variações altimétricas com vales entre 600 m e picos acima de 1600 metros de altitude, dando a região aspectos condizentes com os mares de morros. A região é banhada por duas grandes bacias de importância estadual, a bacia do Paraopeba a Oeste da Região e a bacia do Rio das Velhas, a leste da região, ambas afluentes do Rio São Francisco (DE ARAÚJO NUNES, 2018). A respeito da climatologia, a região metropolitana de Belo Horizonte apresenta fenômenos meteorológicos característicos de um clima de transição, de latitudes médias e tropicais, apresentando duas estações bem definidas: chuvosa na primavera e verão (de outubro a março) e seca no outono e inverno (abril a setembro) (LÚCIO; DE TOSCANO; DE ABREU, 1999). Observa-se ao longo do ano na região, sobretudo nos meses do meio do ano (entre abril e setembro), insolação elevada chegando acima de 250 horas de sol por mês (LÚCIO; DE TOSCANO; DE ABREU, 1999). Desta forma, a região torna-se um potencial para geração de energia fotovoltaica.

4.3 Parâmetros Relevantes

Com base em uma pesquisa bibliográfica, notou-se a necessidade de estudar os parâmetros que possam ser correlacionados para a identificação das áreas mais susceptíveis a geração de energia fotovoltaica, parâmetros esses como: insolação, declividade do terreno, presença de Unidades de Conservação (UC), hidrologia, uso do solo, orientação das encostas e nebulosidade.

4.4 Obtenção dos dados

Após a definição dos critérios, foi necessário a realização do download dos documentos georreferenciados que abordaram os parâmetros escolhidos para estudo. Os dados foram obtidos em sua maioria através do portal Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), em formato de vetor e raster. Exceto pelos dados climatológicos (nebulosidade e insolação), que foram retirados do site do órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET) e pelo dado de Modelo Digital de Elevação (MDE), tratado para elaboração do mapa de orientação de encosta, que foi extraído do satélite Alos Palsar.

4.5 Software QGIS

Os dados obtidos foram tratados e organizados por meio do software QGIS, onde foi realizada a sobreposição de mapas, de modo a encontrar as áreas que apresentaram maior viabilidade de instalação de unidades solares fotovoltaicas.

4.6 Classificação dos parâmetros

Os parâmetros escolhidos formaram a matriz como representado pela tabela abaixo, para posterior aplicação do método AHP. A classificação foi feita em 5 classes: ‘Pouco favorável’, ‘Levemente favorável’, ‘Favorável’, ‘Muito favorável’ e ‘Extremamente favorável’, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos parâmetros.

Nomenclatura	Classe
Pouco favorável	1
Levemente favorável	2
Favorável	3
Muito favorável	4
Extremamente favorável	5

Fonte - Autora (2022).

Para a classificação da Orientação de encosta foram estabelecidos os pontos cardeais, distribuídos em cinco classes, de acordo com o trabalho de Ribeiro (2021), a qual definiu os pontos cardeais incidência solar em ordem crescente como: SE/S/SO, L, NE, O/NO e N, como expostos na Tabela 2. Para a Declividade foi definida como ‘Extremamente favorável’ inclinações menores que 5% já que, segundo Averlan (2020), áreas planas e suavemente onduladas evitam o alto custo de construção exigido em áreas mais íngremes, portanto, estabeleceu-se limite de inclinação para 5% em todas as direções do aspecto do terreno.

Tabela 2 - Classificação dos parâmetros.

Nomenclatura	Classe	Orientação encosta		Declividade	Uso do solo	UC	Insolação		Nebulosidade			
		Ponto cardeal	Intervalo angular									
Pouco favorável	1	SE	112,6 a 157,5	>5%	corpo d'água	Presença	1,558746	a	1,627929	0,557326	a	0,545861
		S	157,6 a 202,5		silvicultura							
		SO	202,6 a 247,5		vegetação campestre							
					vegetação florestal							
Levemente favorável	2	L	67,6 a 112,5	-	-	-	1,627930	a	1,697112	0,545860	a	0,534396
Favorável	3	NE	22,6 a 67,5	-	pastagem natural	-	1,697113	a	1,766595	0,534395	a	0,522931
Muito favorável	4	O	247,6 a 292,5	-	área artificial	-	1,766596	a	1,835478	0,522930	a	0,511466
		NO	292,6 a 337,5		vegetação natural com áreas agrícolas							
Extremamente favorável	5			N	337,6 a 359,6 ; 359,6 a 0 e 0 a 22,5	<5%	agropecuária com remanescente florestais	Ausência	1,835479	a	1,904661	0,511465
		área agrícola										
		vegetação campestre com áreas agrícolas										
					pastagem plantada							

Fonte - Autora (2022).

Na classificação do Uso do solo, foram usados critérios segundo Averlan (2020) conforme apresentado na Tabela 2 acima. O Uso do solo foi dividido em corpo d'água, silvicultura, vegetação campestre, vegetação florestal, pastagem natural, área artificial, vegetação natural com áreas agrícolas, agropecuária com remanescente florestais, área agrícola, vegetação campestre com áreas agrícolas e pastagem plantada, conforme a classificação do banco de dados IDE-Sisema. Ressalta-se que os critérios foram adaptados para a realidade da região do estudo. Como por exemplo, relativo aos corpos d'água foi levado em consideração que há poucos espelhos d'água na região metropolitana de Belo Horizonte e os existentes são usados para recreação, o que poderia impactar a instalação de placas solares, como no caso da Lagoa Vargem das Flores. Portanto, definiu-se a classificação de 'Pouco favorável' para o 'Uso do solo' de corpo d'água.

As restrições adotadas para as Unidades de Conservação foram escolhidas após a revisão da literatura, onde foram definidas como ‘Pouco favorável’ caso houvesse presença de Unidades de Conservação (UCs) e como ‘Extremamente favorável’, caso fosse constatada ausência, assim como Averlan (2020). A respeito da Insolação e Nebulosidade, os valores encontrados no banco de dados do INMET foram igualmente divididos entre as 5 classes, buscando-se uma comparação entre locais que apresentassem maiores níveis de insolação, como mais favoráveis e os que apresentassem maior nebulosidade, como os locais pouco favoráveis.

4.7 Análise Multicritério - Método AHP

Após a obtenção georreferenciada dos dados, foi aplicada análise de multicritério para a correlação entre estes e, para tal, todos os critérios foram cruzados, dois a dois. Os graus de ponderação estão demonstrados na tabela abaixo, onde o parâmetro definido como mais importante foi representado pela cor verde e o menos importante pela cor vermelha. Em seguida, os critérios foram comparados para verificar o quão importante um parâmetro é em relação ao outro. Tal comparação foi feita segundo a Escala de Saaty com valores de 1 a 9, conforme Figura 3 e os valores escolhidos estão expostos na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3 - Importância entre pares de parâmetros.

Parâmetros		Grau de importância: Quantas vezes mais importante	
		Igual	Importância relativa
Orientação da encosta	Declividade	-	5
Orientação da encosta	Uso do solo	-	2
Orientação da encosta	UC	-	4
Orientação da encosta	Insolação	-	7
Orientação da encosta	Nebulosidade	-	2
Declividade	Uso do solo	-	5
Declividade	UC	-	4
Declividade	Insolação	-	8

Declividade	Nebulosidade	-	5
Uso do solo	UC	-	3
Uso do solo	Insolação	-	7
Uso do solo	Nebulosidade	-	2
UC	Insolação	-	5
UC	Nebulosidade	-	2
Insolação	Nebulosidade	-	5

Fonte: Autora (2022).

Após essa definição, os parâmetros foram dispostos na calculadora AHP e por meio do site <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php> foram encontrados os pesos resultantes para os critérios com base na comparação dos pares, conforme exposto na Tabela 4. Esses valores percentuais foram usados posteriormente na AHP calculator, sendo multiplicados pela camada do parâmetro em questão.

Tabela 4 - Ordem de prioridade dos parâmetros

Parâmetro	Ranking	Prioridade
Insolação	1	51,50%
UC	2	18,50%
Uso de solo	3	10,80%
Orientação da encosta	4	8,50%
Nebulosidade	5	7,80%
Declividade	6	2,90%

Fonte - Autora (2022).

Também foi calculado o Consistency Ratio (CR) que o resultado deve, de acordo com Silva (2007), apresentar um valor de $CR \leq 10\%$ para que haja consistência para prosseguir com os valores. Caso contrário, deve-se rearranjar o grau de importância escolhido para os pares de parâmetros até que a consistência aumente. No caso do presente trabalho, o valor encontrado foi de 9,9% como resultado de 15 comparações par a par dos parâmetros acima.

O valor de prioridade de cada um dos parâmetros foi disposto em uma equação na Calculadora Raster, multiplicando-se os valores percentuais de importância encontrados no site exposto anteriormente. A Calculadora Raster é uma função do software QGIS, que permite por meio da álgebra de mapas, obter um resultado final de pesos a serem estabelecidos para estes parâmetros.

As áreas favoráveis para instalação de usinas solares fotovoltaicas foram encontradas por meio do resultado de um mapa elaborado por meio da seguinte equação:

$$AF = (Insolação \times 0,515) + (UC \times 0,185) + (Uso \text{ do solo} \times 0,108) + \\ + (Orientação \text{ da encosta} \times 0,085) + (Nebulosidade \times 0,078) + \\ + (Declividade \times 0,029)$$

Em que:

AF = Áreas Favoráveis.

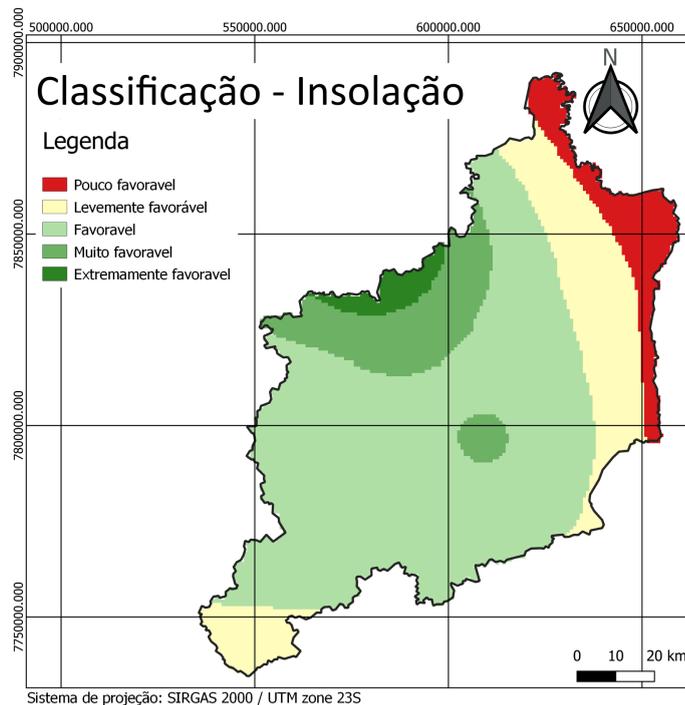
A partir do resultado desta equação, através das somatórias dos mapas preliminares com a álgebra de mapas do QGIS, obteve-se as Áreas favoráveis com potencial de geração de energia solar fotovoltaica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Insolação

A respeito da Insolação, os valores encontrados foram distribuídos em 5 classes para comparação com os demais parâmetros, indo de ‘Pouco favorável’ até ‘Extremamente favorável’. Toda a porção central da região metropolitana foi considerada favorável, como observado na Figura 5, representado pela coloração verde.

Figura 5 - Insolação na RMBH reclassificada.

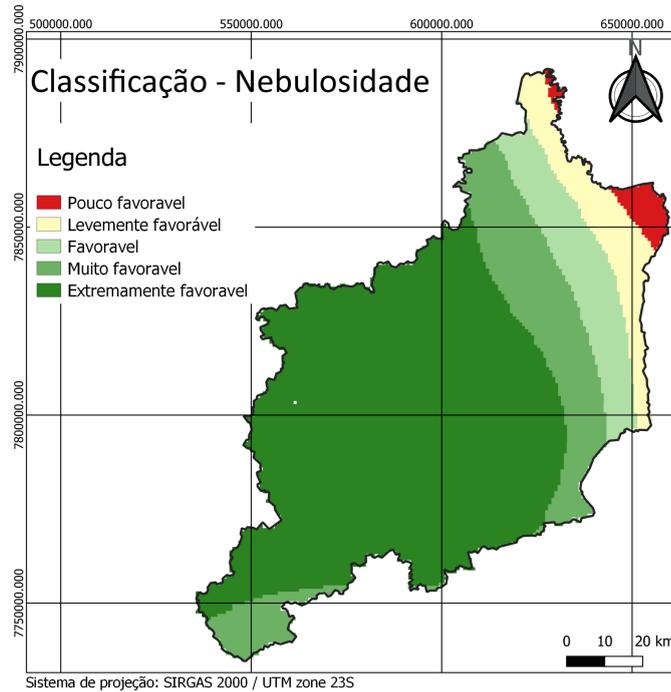


Fonte - Autora (2022).

5.2 Nebulosidade

Considerando a Nebulosidade, foram obtidos valores inversamente proporcionais à Insolação, já que quanto maior a nebulosidade, menor a incidência de sol na região. Contudo, para a reclassificação, os locais dados como mais favoráveis no caso da Nebulosidade, foram os menores, contraposto da Insolação onde as regiões mais favoráveis a serem potenciais geradoras de energia são os com maior grau. Portanto, o mapa reclassificado mostrou certa semelhança, com valores menos favoráveis na porção nordeste e sudoeste da região metropolitana.

Figura 6 - Nebulosidade na RMBH reclassificada.

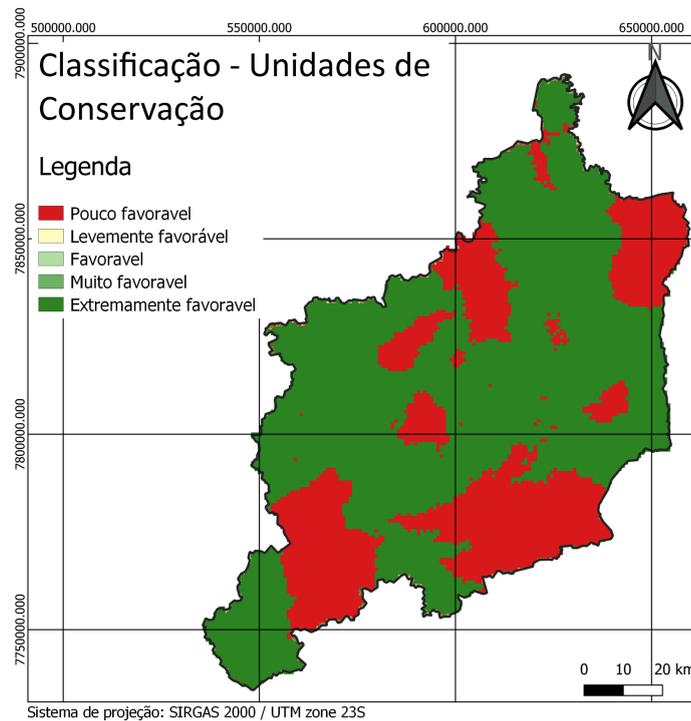


Fonte - Autora (2022).

5.3 Unidades de Conservação

O mapa abaixo foi gerado considerando-se todas as Unidades de Conservação (UCs) segundo o portal do IDE-Sisema, como descrito na Metodologia. Para a classificação foi usada uma medida binária, sendo extremamente favoráveis locais onde não há UCs e pouco favoráveis onde há e, por isso, o mapa resultante da reclassificação está demonstrado com apenas duas cores. Na Figura 7, pode-se perceber que os locais favoráveis estão representados de verde e a coloração vermelha representa as regiões pouco favoráveis. Ressalta-se a importância de estudos mais aprofundados a respeito de áreas de preservação ambiental, incluindo áreas de preservação permanente, o que inviabilizaria a instalação de grandes usinas solares.

Figura 7 - Unidades de Conservação presentes na RMBH reclassificadas.



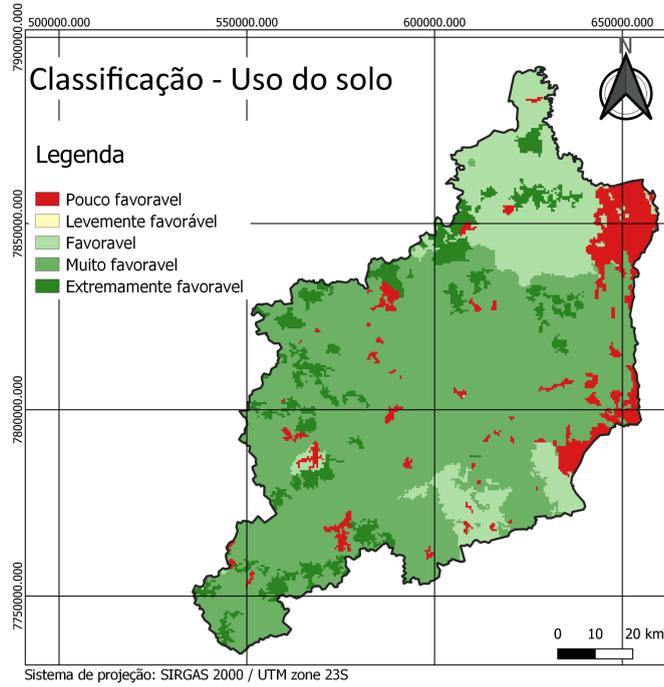
Fonte - Autora (2022).

5.4 Uso de solo

Levando-se em consideração o parâmetro de Uso do solo, a região metropolitana de Belo Horizonte possui quase toda a área preenchida por zonas favoráveis, seja ela classificada como ‘Favorável’, ‘Muito favorável’ ou ‘Extremamente favorável’. Esses lugares são os que apresentam o Uso do solo relativo a principalmente áreas artificiais e agrícolas, conforme observado na Figura 8. É sabido que essas regiões são zonas potenciais para implantação de usinas fotovoltaicas por apresentarem alta demanda de uso energético.

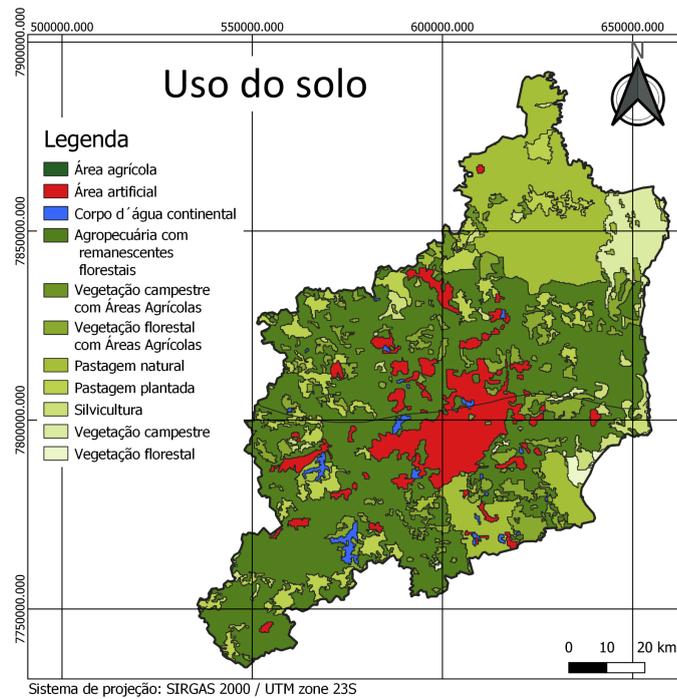
A região nordeste apresentou um ponto menos favorável, segundo a Figura 9, dado por um local de vegetação campestre. Foi observado pela imagem de satélite que está localizado o Parque Nacional da Serra do Cipó no lugar em questão.

Figura 8 - Uso do solo na RMBH reclassificado.



Fonte - Autora (2022).

Figura 9 - Uso do solo na RMBH.



Fonte - Autora (2022).

5.5 Orientação da encosta

Levando-se em conta o critério de Orientação de encosta, a Figura 10 apresenta um resultado bem heterogêneo ao longo da RMBH. Foram encontrados pontos pouco, levemente, muito e extremamente favoráveis ao longo da extensão do terreno. Salienta-se que são necessários mais estudos dos demais parâmetros em um escala mais detalhada para que, dessa forma, seja possível avaliar regiões potenciais de instalação de usinas menores.

Figura 10 - Orientação da encosta da RMBH reclassificada.



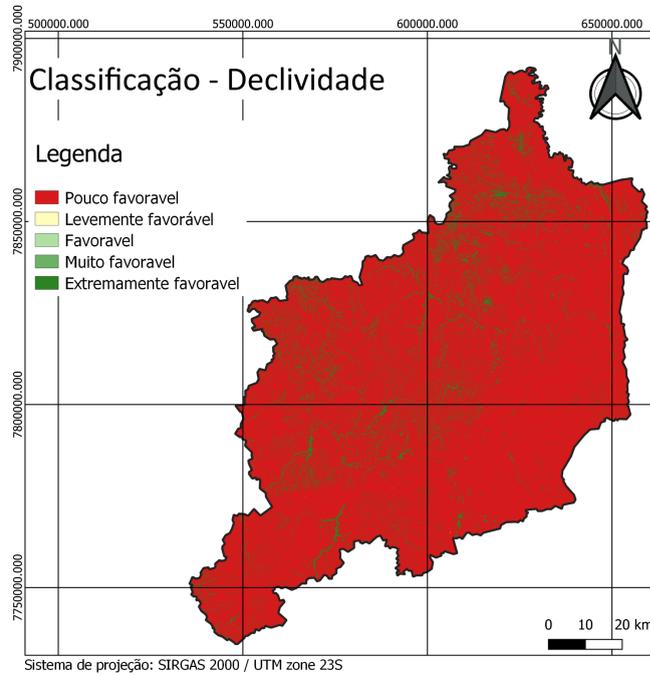
Fonte - Autora (2022).

5.6 Declividade

A Figura 11 apresenta a classificação da Declividade. Conforme revisão bibliográfica, assim como o parâmetro Unidade de Conservação, este foi classificado como um parâmetro binário. Locais com declividade inferior a 5% representam locais classificados como 'Extremamente favorável', porém, como esperado, a maioria da área de estudo apresenta inclinações maiores. Esse fato levou a definição da declividade como o fator menos relevante quando comparados aos demais na aplicação da calculadora AHP. É importante ressaltar que tal índice de declividade é importante de ser levado em consideração para a implantação de grandes usinas por aumentar consideravelmente o custo de instalação. Portanto, fazem-se necessários estudos

mais aprofundados caso seja desejado um resultado fragmentado para pequenas e grandes usinas.

Figura 11 - Declividade na RMBH reclassificada.



Fonte - Autora (2022).

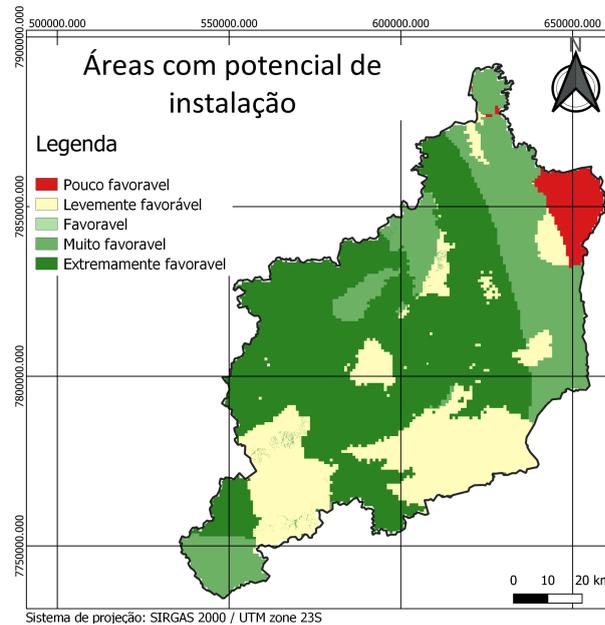
5.7 Área potencial para geração de Energia Fotovoltaica na região metropolitana de Belo Horizonte

Como resultado, após a sobreposição de camadas, obteve-se a Figura 12 que mostrou uma região majoritariamente favorável levando-se em consideração os parâmetros explicitados anteriormente. A Figura 12 apresenta área majoritariamente em tons de verde, expondo áreas ‘Muito favoráveis’ e ‘Extremamente favoráveis’ ao longo do mapa.

A região nordeste da RMBH apresentou um local ‘Pouco favorável’ bem evidente, devido à influência principalmente da ‘Unidade de Conservação’ em consonância com o ‘Uso do solo’ já descrito anteriormente, onde foi verificado a presença de um parque nacional.

As porções que mais destoam no resultado final devem-se às ‘Unidades de conservação’, representadas em tons de amarelo ou verde claro ao serem combinadas com outros critérios.

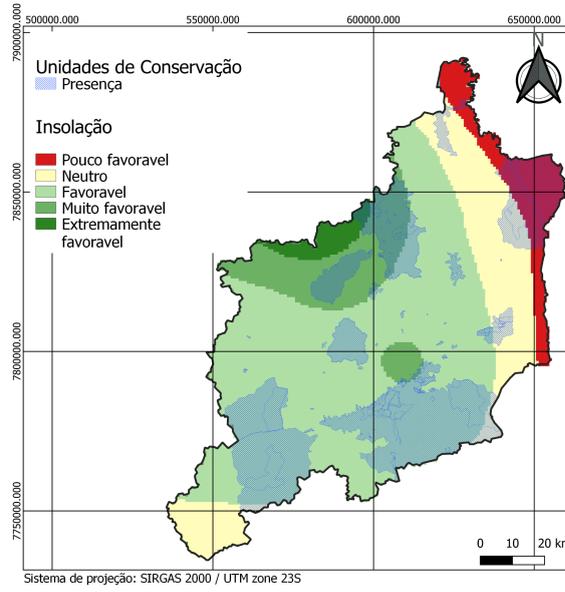
Figura 12 - Áreas na RMBH com potencial de geração de energia solar.



Fonte - Autora (2022).

A figura abaixo, representa a sobreposição das camadas de Unidades de Conservação, em tons de azul e a camada de Insolação. Foi importante fazer a análise dessas duas camadas em conjunto para que se pudesse justificar as informações expostas anteriormente, o que ficou evidente por meio da Figura 13. A forte influência das Unidades de conservação no resultado final pode ser explicada pela Prioridade de 18,50% dada pela calculadora AHP na combinação dos parâmetros.

Figura 13 - Sobreposição das UCs com a relevância de Insolação na RMBH.



Fonte - Autora (2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta-se como um mecanismo capaz de identificar espacialmente regiões com potencial de geração de energia solar através do conjunto de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas com técnicas de análise hierárquica. Por meio de extensa revisão na bibliografia e estudo da arte atual, foi possível definir variáveis importantes para a identificação dessas áreas na região metropolitana de Belo Horizonte - MG.

O método de análise utilizado, o Analytic Hierarchy Process mostrou-se um excelente recurso de ponderação por sua extensa aplicação, fácil manuseio e alta precisão, se bem aplicado. Portanto, recomenda-se estudos mais aprofundados, com um maior número de parâmetros porém com a mesma metodologia, para assim, obter-se mapas mais detalhados com uma menor escala. O resultado obtido poderá ser usado para escolha de empresas de energia fotovoltaica escolherem um foco de prospecção ativa de clientes, auxiliando gestores em decisões de investimento neste setor.

Com os resultados obtidos, pretende-se estimular a implementação de uma alternativa de energia mais sustentável. Além disso, em larga escala o uso de sistemas de geração distribuída tem potencial de reduzir a sobrecarga do sistema elétrico estatal, já que esse fato é comprovado muitas vezes com a elevação das bandeiras tarifárias.

Espera-se que esse levantamento se torne relevante no contexto de geração de energia solar, podendo incentivar iniciativas de projetos de gestores de estado na elaboração de incentivos fiscais para instalação desse tipo de sistema.

7 REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 482/2012. 17 de abril de 2012.

ANEEL. Revisão das regras de geração distribuída entra em consulta pública. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdmFHrE/content/revisao-das-regras-de-geracao-distribuida-entra-em-consulta-publica/656877>. Acesso em: 25 jun. 2020.

AVERLAN, Murilo Souza. Mapeamento do potencial de geração de energia fotovoltaica no Estado de Santa Catarina. 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1498/Murilo%20Souza%20Averlan%20-%20TCC-02-Entrega-Final.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 out. 2021.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira et al. Expansão da energia solar fotovoltaica no brasil: impactos ambientais e políticas públicas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p. 628-642, 2015. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3467>. Acesso em: 16 fev. 2022.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída: micro e minigeração distribuídas**. Micro e Minigeração Distribuídas. 2015. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false. Acesso em: 25 abr. 2021.

BRASIL. Decreto Nº 5.163 de 30 de Julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília-DF, 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm>. Acesso em: 25 jun. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. CENSO DEMOGRÁFICO 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=310620>. Acesso em 15 fev 2021.

BORGES, Ane Caroline Pereira et al. Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **REDE-Revista Eletrônica do Prodem**, v. 10, n. 2, 2017. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/239>. Acesso em: 27 abr. 2021.

BRASIL. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados de Belo Horizonte** - Minas Gerais - Brasil. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>. Acesso em: 25 abr. 2021.

BRASIL. Jorge Paglioli Jobim. Diretor do Departamento de Desenvolvimento Energético do Mme. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: 2014. 530 p

CAMPOS RODRIGUES, A.; RODRIGUES PORTO, J. G.; GONÇALVES KREPKE, J.; NEVES SERRA, A. O CRESCIMENTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. **Revista Mythos**, v. 13, n. 1, p. 87-99, 10 jun. 2021. Disponível em: <https://periodicos.unis.edu.br/index.php/mythos/article/view/461>. Acesso em 18 jun. 2021.

DE ARAUJO NUNES, Aline. **Tendências em eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Belo Horizonte**: detecção, impactos e adaptabilidade. 2018.

DE OLIVEIRA, Alzira Marques; MARIO, Maurício Conceição; PACHECO, Marcos Tadeu Tavares. Fontes renováveis de energia elétrica: evolução da oferta de energia fotovoltaica no Brasil até 2050. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 1, p. 257-272, 2021. Disponível em <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BASR/article/view/23315>>. Acesso em 18 jun. 2021.

LUCIO, P. S.; DE TOSCANO, E. M. M.; DE ABREU, M. L. Caracterização de séries climatológicas pontuais via análise canônica de correspondência. Estudo de caso: Belo Horizonte-MG (Brasil). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 17, p. 193-207, 1999. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbg/a/XkWKJmFhhh76t4sPRkxwpKt/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 20 jun. 2021.

MARCO AURÉLIO COSTA (Brasil). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Ipea. Caracterização e Quadros de Análise Comparativa da Governança Metropolitana no Brasil: arranjos institucionais de gestão metropolitana (Componente 1): relatório de pesquisa. Rio de Janeiro: **Livraria Ipea**, 2015. 88 p. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/rel1_1_rmbh.pdf. Acesso em: 18 jun. 2021.

PACHECO, Fabiana. Energias Renováveis: breves conceitos. *Conjuntura e Planejamento*, v. 149, p. 4-11, 2006. Disponível em: <http://files.pet-quimica.webnode.com/200000109-5ab055bae2/Conceitos_Energias_renov%C3%A1veis.pdf>. Acesso em: 23 set. 2021.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: Inpe, 2017. ISBN 978-85-17-00089-8. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acesso em: 20 ago. 2021.

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira; OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; MÜLLER, Alexei Machado. **Movimento Anual do Sol e Estações do Ano**. Insolação Solar. Elaborada pela Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/insolacao.htm>. Acesso em: 07 out. 2020

SILVA, C. A.; NUNES, F. P. **Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP**: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5435-5442. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.19.56>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

RIBEIRO, ISABELA GOMES. **Mapeamento de áreas suscetíveis a queimadas na Bacia do Rio Paraúna – MG**. 2021. 66 pg. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

SILVA, D. M. R. **Aplicação do método AHP para avaliação de projetos industriais**. Rio de Janeiro, v. 128, 2007.

TORRES, Regina Célia. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/en.php>> Acesso em: 10 ago. 2021.