

HIERARQUIZAÇÃO DA FAVORABILIDADE À RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL COM USO DE *GEOSPATIAL BIG DATA* PARA REGIÕES DEGRADADAS DEVIDO A EXPLORAÇÃO *ONSHORE* DE PETRÓLEO E GÁS

HIERARCHIZING THE FAVORABILITY OF FOREST RECOMPOSITION USING GEOSPATIAL BIG DATA FOR DEGRADED REGIONS DUE TO ONSHORE OIL AND GAS EXPLORATION

Milena de Araújo LIMOEIRO¹, Mauro José ALIXANDRINI JÚNIOR²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano. Rua João Nascimento, s/n - Centro, Uruçuca - BA.

E-mail: milenaalimoeiro@gmail.com

²Universidade Federal da Bahia. Rua Augusto Viana, s/n - Palácio da Reitoria, Canela, Salvador BA.

E-mail: mauroalixandrini@ufba.br

Introdução
Materiais e métodos
Local de estudo
Metodologia
Análises e resultados
Conclusões
Considerações finais
Referências

RESUMO - Este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para avaliação da favorabilidade à recomposição florestal para áreas degradadas pela exploração de petróleo *onshore* com uso de *geospatial big data*. Com o mapa elaborado é possível observar que a escolha das áreas para realização de projetos de reflorestamento pode ser mais assertiva com a utilização de um modelo que represente a favorabilidade à recomposição florestal na região. Dentre os indicadores utilizados, o uso da terra, a proximidade com áreas de formação florestal e a proximidade a corpos d'água, foram considerados aqueles como maior impacto para a hierarquização de regiões mais ou menos favoráveis ao reflorestamento. Percebeu-se que na região estudada existe uma concentração de áreas muito favoráveis na região da vizinhança do Rio Catu e que, no geral, os centroides de áreas degradadas localizadas em regiões favoráveis e muito favoráveis tiveram uma boa representatividade, totalizando um total de 57% de toda a área mapeada, o que constitui uma quantidade considerável de áreas que podem ser trabalhadas com maior chance de sucesso. Por fim, ressalta-se que a metodologia desenvolvida neste trabalho pode ser replicada em qualquer região e assim oferecer um subsídio para uma escolha mais estratégica de áreas candidatas ao reflorestamento.

Palavras-chave: *Geospatial big data*. Mapa de favorabilidade. Recomposição florestal.

ABSTRACT - This work has as general objective to propose a methodology for evaluating favorability to the forest restoration for impacted or degraded areas by onshore oil exploration with the use of *geospatial big data*. It was possible to observe that the choice of areas for the realization of reforestation projects can be more assertive with the use of a model that represents the favorability to forest restoration in the region. Among the indicators used, land use, proximity to areas of forest formation and proximity to water bodies were considered to have the greatest impact on the hierarchy of regions more or less favorable to reforestation. It was noticed that there is a concentration of very favorable areas near the Catu River in the study area and, in general, the centroids of degraded areas in favorable and very favorable regions had a good representation, around a total of 57% of the mapped area, which constitutes an added quantity of areas that can be worked with a greater chance of success. Finally, it is important to note that the methodology developed in this work can be replicated in any region and thus offer a subsidy for the more strategic choice of areas that are candidates for reforestation.

Keywords: Geospatial big data. Map of favorability. Forest restoration.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o cenário mundial de exploração *onshore* (em regiões continentais) de petróleo e gás natural alterou-se em função da intensificação de jazidas em regiões predominantemente tropicais.

Essas regiões mostram-se muito mais suscetíveis à degradação em função de características intrínsecas à exploração desses minerais, isso porque, conforme exposto por Gurgel et al. (2013), as jazidas de petróleo acontecem em regiões extensas do continente e são exploradas com auxílio de uma rede densa

de poços.

Segundo Barbosa (2017), dentre os impactos gerados pela atividade minerária, podem ser citados a modificação do relevo, a degradação do solo e da biodiversidade, e o solo remanescente com baixo teor de matéria orgânica; sendo que esses impactos perduram inclusive após o término da atividade quando não são empregadas técnicas adequadas de operação e controle.

As atividades de mineração podem ser citadas como um dos fatores que frequente-

mente causam mudanças nas paisagens, particularmente nos locais em seu entorno, onde a recomposição florestal é importante para minimizar e mitigar os efeitos ambientais e assim permitir novos usos da terra (Al-Uzouq & Al-Rawashdeh, 2014). Como forma de diminuir esses impactos, a resolução Conama nº 237/97 estabelece a necessidade da formulação de um plano de recuperação de áreas degradadas nas áreas onde ocorre exploração de minério (Brasil, 1997). Ressalte-se que a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, em seu artigo 2º, define recuperação como sendo a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original; e restauração como sendo a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original (Brasil, 2000).

Dentre as atividades desenvolvidas visando à recuperação da área degradada, tem-se a recomposição florestal, que consiste no plantio de vegetação nativa de determinada região a fim de recompor o que foi desmatado. De acordo com Seabra (2012), uma área considerada favorável à recuperação florestal apresenta características abióticas, bióticas e socioeconômicas, que oferecem boas condições para que ocorra o processo de recuperação florestal.

Embora a escolha estratégica de áreas mais favoráveis para iniciar o processo de recuperação seja um facilitador para o sucesso da atividade, essa escolha demanda conhecimento da área e das características do espaço geográfico, um levantamento de dados custoso e de difícil sistematização por técnicas diretas (observação *in loco*). Como alternativa a esse problema relacionado ao uso de técnicas de coleta direta, existem as técnicas de sensoriamento remoto do ambiente, capazes de propiciar cobertura de extensas regiões de forma sistemática.

Hoje, é possível contar com um universo muito grande de informação remota em escala global disponível no chamado *geospatial big data*. Li et al. (2016) entendem que o termo *big data* pode ser definido de forma geral como um conjunto de dados que possui grandes volumes de dados. Segundo Lee & Kang (2015), os dados geoespaciais sempre foram *big data* e, de acordo

com Li (2019), o termo *geospatial big data* refere-se a um tipo específico de *big data* que contém informações de localização. Ressalta-se que por volta dos anos 2000 estimava-se que cerca de 80% dos dados digitais gerados possuíam uma referência geoespacial (Maceachren & Kraak, 2001)

Segundo Robinson et al. (2017), o *geospatial big data* apresenta um novo conjunto de desafios e oportunidades para geocientistas e outros pesquisadores, que precisam focar seus esforços contemporâneos em um trabalho que se conecta a disciplinas externas e se baseia em problemas que são importantes para a humanidade e sua sustentabilidade.

Vários trabalhos vêm empregando análises espaciais através de dados oriundos de sensoriamento remoto com o objetivo de auxiliar em decisões estratégicas sobre fenômenos relacionados ao espaço geográfico e Florenzano (2002) destaca que o uso do sensoriamento remoto permite o estudo tanto dos fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente como dos fenômenos antrópicos.

É possível compreender que o uso do *geospatial big data* associado a técnicas de análises espaciais pode trazer grandes benefícios para o estabelecimento do processo de recomposição florestal, pois facilita a identificação de áreas potencialmente mais favoráveis, assim tem-se a ideia central desta pesquisa, que visa verificar a viabilidade da obtenção dessas informações com o uso do *geospatial big data*.

Desta forma, foi trabalhada a seguinte hipótese: é possível gerar um mapa de favorabilidade à recomposição florestal em zonas tropicais degradadas por exploração de petróleo e gás *onshore* com base em dados *geospatial big data open access* (GBDOA).

Posto isso, o objetivo geral desta pesquisa é propor uma metodologia para avaliação da favorabilidade à recomposição florestal com uso de GBDOA. De maneira específica, pretendeu-se gerar um mapa de favorabilidade a recomposição florestal para o campo de Água Grande, que fica entre os municípios de Catu e Pojuca, no estado da Bahia e identificar critérios preferenciais para hierarquização de regiões mais ou menos favoráveis ao reflorestamento, bem como analisar as características espaciais e atributos das regiões candidatas ao reflorestamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local de Estudo

O local escolhido para a realização do estudo de caso desenvolvido neste trabalho foi o campo de Água Grande, que está localizado nos municípios de Pojuca e Catu, estado da Bahia. O campo é delimitado por uma poligonal de, aproximadamente, 56 km², e foi escolhido por ser uma área que sofre os graves efeitos da degradação ambiental gerada como consequência da exploração *onshore* de petróleo e gás natural na região (Figura 1). Além disto, no diagnóstico ambiental realizado pela Petrobrás (2009) essa região foi enquadrada na classe em que onde são alocadas as áreas de prioridade muito alta a recuperação, por se configurarem como áreas degradadas com risco patrimonial eminente, sendo necessária a adoção de estratégias de recuperação por meio da

elaboração do plano de recuperação de áreas degradadas.

Este campo representa apenas uma pequena parcela dentre as áreas de potencial exploração existentes no país. De acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o Brasil possui 29 bacias sedimentares com interesse para pesquisa de hidrocarbonetos (ANP, 2020), dentre os quais tem-se o petróleo e o gás natural. Essas bacias ocupam uma área total de 7,175 milhões de km². No que tange às áreas já com produção consolidada, informações do Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020 divulgado pela ANP mostram, que no ano de 2019, existiam 380 campos em fase de produção, dos quais 101 em mar e 279 em terra (ANP, 2020).

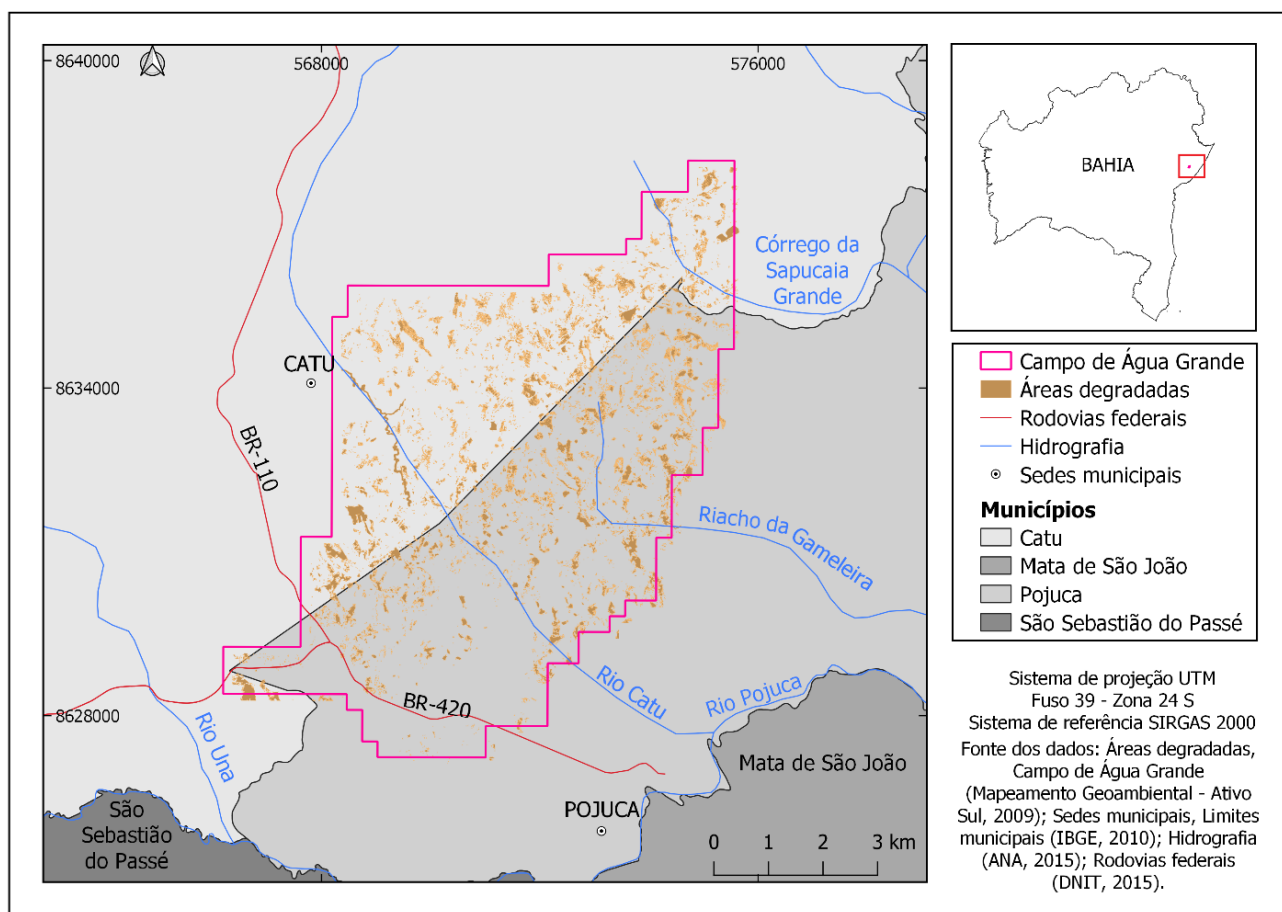


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Metodologia

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi baseada nas metodologias desenvolvidas por Seabra (2012) e Baylão Júnior (2014), sendo realizadas algumas adaptações para adequação a proposta do uso de dados abertos. O mapa de favorabilidade à recomposição florestal foi

elaborado com base nos fundamentos da análise multicritério e álgebra de mapas. As camadas de informação de cada um dos indicadores utilizados no mapa foram construídas utilizando dados abertos e gratuitos, conforme descrito a seguir.

a) Indicador 1 – Uso da terra: neste indicador, foi utilizado como dado de entrada o modelo de

cobertura do solo do MapBiomias, ano de 2010, com resolução espacial de 30 metros. Para extrair as informações de cada classe de uso, foi utilizado um filtro com o valor respectivo de cada classe, sendo gerada uma imagem binária para cada classe de uso da terra;

b) Indicador 2 – Proximidade com áreas urbanas: neste indicador, foi utilizado como dado de entrada a classe Infraestrutura Urbana do modelo MapBiomias. As informações desta classe foram extraídas do modelo por processo de filtragem. Em seguida, esse dado foi vetorizado e, a partir desse vetor, foram feitos buffers com as distâncias predeterminadas (0 a 50 metros, 50 a 100 metros, 100 a 300 metros, 300 a 600 metros e acima de 600 metros). Por fim, os buffers foram utilizados como máscara para criar imagens binárias para cada classe de distância;

c) Indicador 3 – Proximidade com áreas de formação florestal: neste indicador, foi utilizado como dado de entrada a classe Formação Florestal do modelo MapBiomias. As informações desta classe foram extraídas do modelo por processo de filtragem. Em seguida, esse dado foi vetorizado e, a partir desse vetor, foram feitos buffers com as distâncias predeterminadas (0 a 50 metros, 50 a 100 metros, 100 a 300 metros, 300 a 600 metros e acima de 600 metros). Por fim, os buffers foram utilizados como máscara para criar imagens binárias para cada classe de distância;

d) Indicador 4 – Proximidade com corpos d'água: neste indicador, foi utilizado como dado de entrada o arquivo vetorial de hidrografia disponibilizado pelo IBGE e, a partir desse vetor, foram feitos buffers com as distâncias predeterminadas (0 a 50 metros, 50 a 100 metros, 100 a 300 metros, 300 a 600 metros e acima de 600 metros). Por fim, os buffers foram utilizados como máscara para criar imagens binárias para cada classe de distância;

e) Indicador 5 – Geomorfologia: a camada deste indicador foi construída com base no dado do modelo digital de elevação ALOS, ano 2007, com resolução espacial de 12,5 metros e precisão nominal vertical de 7 m. Através desse modelo, foram geradas as camadas de declividade e amplitude de relevo, usadas para a determinação da geomorfologia. A regra para a definição das classes geomorfológicas foi criada através de uma adaptação da metodologia sugerida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (ITP) para melhor se adequar à área de estudo, sendo definidas as seguintes classes e regras:

1. Relevo plano a colinoso: declividade variando entre 0% e 15% e amplitude de relevo menor que 40 metros;

2. Morrotes: declividades maiores que 15% e amplitude de relevo variando entre 40 e 100 metros;

3. Morros: declividades maiores que 15% e amplitude de relevo maiores que 100 metros;

4. Planaltos: declividades menores que 15% e amplitude de relevo maiores que 40 metros.

Com o auxílio da calculadora *raster* do software QGIS, as regras citadas acima foram aplicadas aos dados de declividade e amplitude de relevo, gerando uma camada *raster* binária para cada classe geomorfológica.

f) Indicador 6 – Declividade: a camada deste indicador foi construída com base no dado do modelo digital de elevação ALOS, sendo que, através de filtragem, foi gerada uma imagem binária para cada classe predefinida. As classes deste indicador foram construídas de acordo com as divisões sugeridas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), sendo elas: 0% a 3%; 3% a 8%; 8% a 20%; 20% a 45%; e 45% a 75%.

g) Indicador 7 – Intensidade de exposição ao Sol: a camada deste indicador foi construída com base no dado do modelo digital de elevação ALOS, sendo considerada a incidência solar do solstício de verão. A intensidade de exposição ao Sol foi classificada em baixa, moderada e alta e para cada classe foi gerada uma imagem binária.

Ressalta-se que para os indicadores de proximidade com áreas urbanas, proximidade com áreas de formação florestal e proximidade com corpos d'água foram escolhidas faixas de distancias predeterminadas para viabilizar a cobertura de toda a área de estudo e, ainda, garantir a representação dos diferentes cenários possíveis. Sendo conhecidos todos os indicadores e suas respectivas classes, foi realizada uma pesquisa com 06 especialistas na área de reflorestamento com diferentes formações (engenheiros ambientais, engenheiros agrônomos e geógrafos) a fim de se identificar os critérios preferenciais para hierarquização das regiões mais ou menos favoráveis ao reflorestamento. Para cada um dos indicadores utilizados no estudo, cada especialista foi convidado a atribuir um peso na composição do mapa e, para cada uma das classes desses indicadores, uma nota de influência.

É importante notar que a influência de cada uma das classes no mapa de favorabilidade foi

determinada, exclusivamente, pela opinião dos especialistas que atribuíram notas para cada uma delas.

Os pesos foram atribuídos em uma escala de 1 a 5, onde 1 representa que o indicador tem o menor peso para influenciar a favorabilidade à recomposição florestal na área e 5 representa que o indicador tem o peso máximo. Já as classes foram avaliadas em uma escala de 0 a 10, onde 0 representa que a classe não tem nenhuma preferência e 10 que a classe tem preferência

máxima. Desta forma, é possível que uma classe previamente determinada tenha influência nula sobre o mapa caso a esta classe seja atribuída a nota 0. Os pesos e notas finais utilizados para a elaboração do mapa foram as modas dos valores obtidos na pesquisa, ou, no caso de não haver moda, a mediana desses valores. Essa ponderação foi utilizada com o objetivo de obter medidas de tendência central que não fossem tão distorcidas pela existência de valores extremamente altos ou baixos.

ANÁLISES E RESULTADOS

Com base nas respostas dos especialistas que contribuíram com a pesquisa foram calculados os pesos e notas que foram utilizados para a elaboração do mapa, sendo obtidos os seguintes resultados (Figura 2).

Por fim, após serem conhecidos os valores de todos os pesos e notas das classes dos indicadores escolhidos, as camadas foram compatibilizadas com relação ao seu sistema de referência e, através das álgebras de mapas, foi gerado o mapa de favorabilidade à recomposição florestal da área de estudo com o auxílio do software QGIS, conforme pode ser visto na figura 3, a seguir.

Ao correlacionar as informações do mapa de

favorabilidade obtido com o arquivo de áreas degradadas pelas atividades de mineração no campo de Água Grande, pode-se verificar, conforme demonstrado na figura 4, a distribuição de frequência da ocorrência das áreas candidatas ao reflorestamento com relação à favorabilidade para recomposição florestal.

Entende-se que, se a distribuição das áreas degradadas ocorrer de forma aleatória, não haverá diferença significativa entre a frequência de ocorrência de uma determinada classe ao longo de toda a área de estudo com relação à ocorrência dessa mesma classe quando analisada apenas as áreas degradadas.

Uso da terra	Peso 5	Proximidade com áreas urbanas	Peso 3
Classes	Notas	Classes	Notas
Formação Florestal	10	0 a 50 metros	5
Infraestrutura Urbana	5	50 a 100 metros	7
Mosaico de Agricultura ou Pastagem	5	100 a 300 metros	8
Outra Área não Vegetada	4	300 a 600 metros	8
Pastagem	3	> 600 metros	10
Proximidade com áreas de formação florestal	Peso 5	Proximidade com corpos d'água	Peso 5
Classes	Notas	Classes	Notas
0 a 50 metros	10	0 a 50 metros	10
50 a 100 metros	5	50 a 100 metros	10
100 a 300 metros	8	100 a 300 metros	10
300 a 600 metros	8	300 a 600 metros	8
> 600 metros	6	> 600 metros	8
Geomorfologia	Peso 3	Declividade	Peso 3
Classes	Notas	Classes	Notas
Plano a colinoso	10	0 a 3	10
Morrotes	8	3 a 8	5
Morros	8	8 a 20	8
Planalto	10	20 a 45	8
Intensidade da exposição ao Sol	Peso 3	45 a 75	10
Classes	Notas		
Baixa	10		
Moderada	9		
Alta	8		

Figura 2 – Pesos dos indicadores e notas de suas respectivas classes.

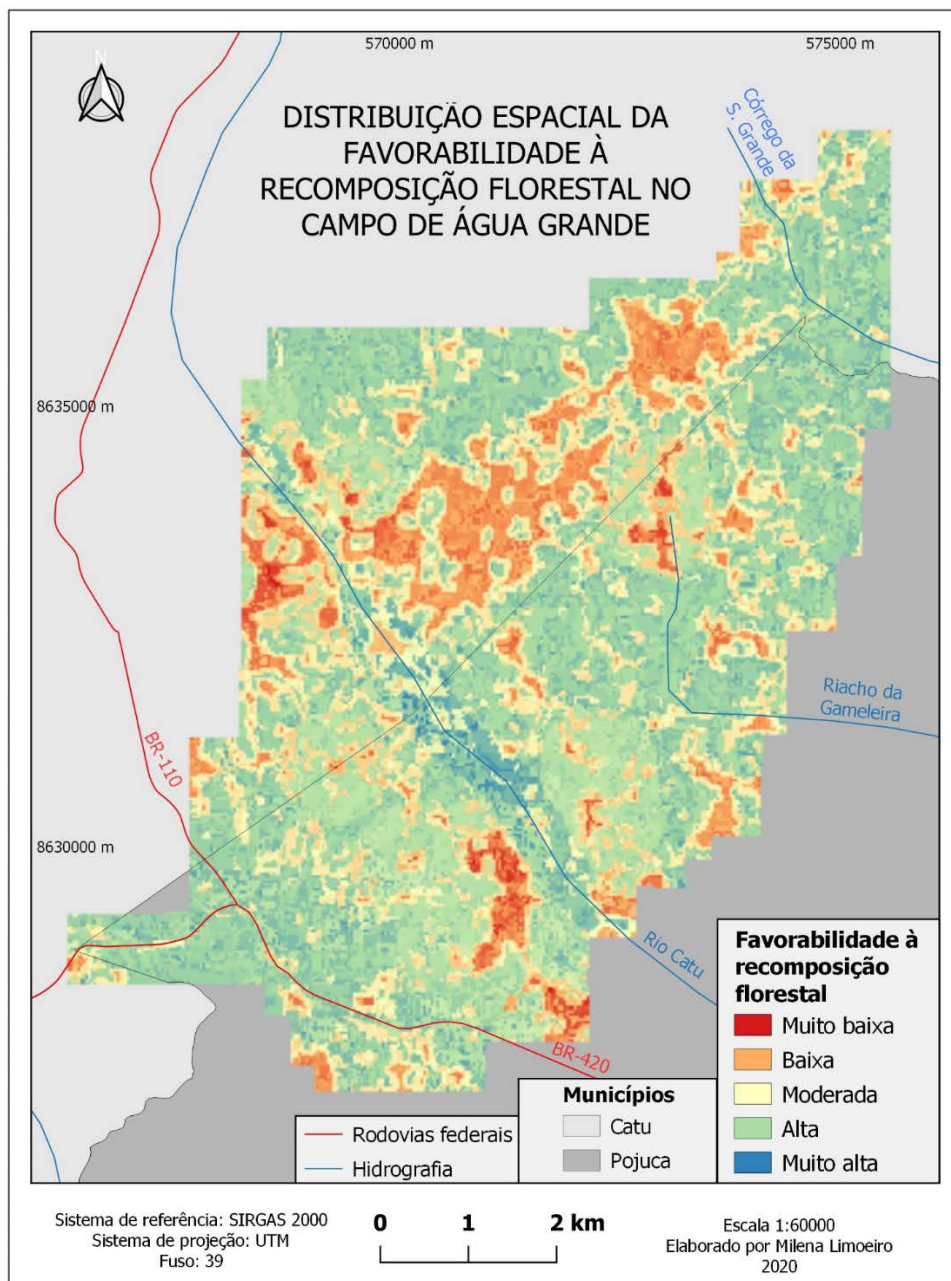


Figura 3 - Mapa de favorabilidade à recomposição florestal.

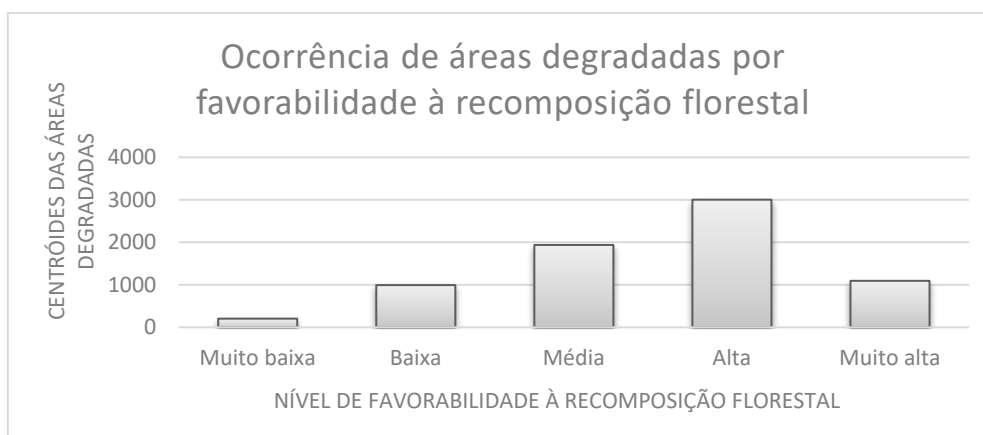


Figura 4 - Histograma da ocorrência de áreas degradadas com relação ao nível de favorabilidade à recomposição florestal da região.

A fim de se observar esse comportamento, foi analisada a distribuição percentual da ocorrência de cada classe dos indicadores considerando a extensão de áreas degradadas e a área total do estudo, conforme demonstrado nas figuras de 5 a 11, a seguir.

Conforme pode ser visualizado na figura 5, com relação ao indicador de uso da terra a maior diferença absoluta ocorreu para a classe de Pastagem, onde o percentual de ocorrência de áreas degradadas é 6,3% superior à ocorrência desta classe na extensão da área de estudo. Uma possível explicação para essa ocorrência é o fato de que áreas de pastagem são mais susceptíveis a degradação devido aos impactos gerados pela própria natureza dessa atividade que, conforme afirmam Rocha Júnior et al. (2013), podem resultar em alterações físicas, químicas e

biológicas no solo.

Com relação ao indicador de geomorfologia (Figura 6) a maior diferença absoluta ocorreu para a classe de Relevo Plano a Colinoso, onde o percentual de ocorrência de áreas degradadas é 6,1% inferior à ocorrência desta classe na extensão da área de estudo.

Essa diferença pode estar relacionada ao fato de que áreas com relevo plano a colinoso comumente apresentam baixo nível de degradação (Candido et al., 2002; Sa et al., 2004).

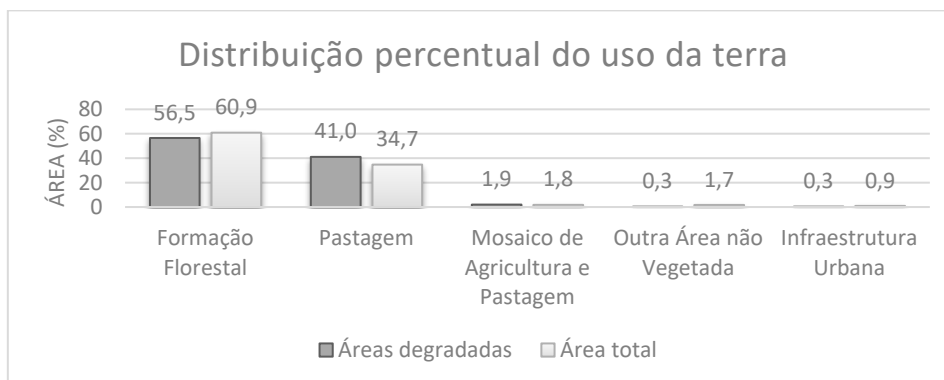


Figura 5 - Gráfico de distribuição percentual do uso da terra.

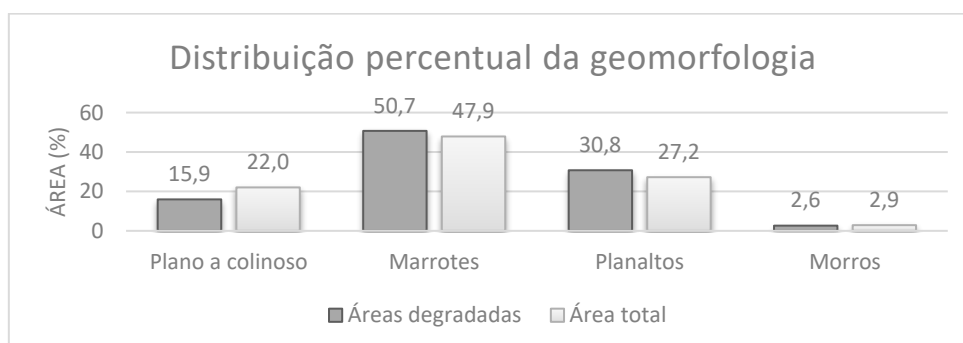


Figura 6 - Gráfico de distribuição percentual da geomorfologia.

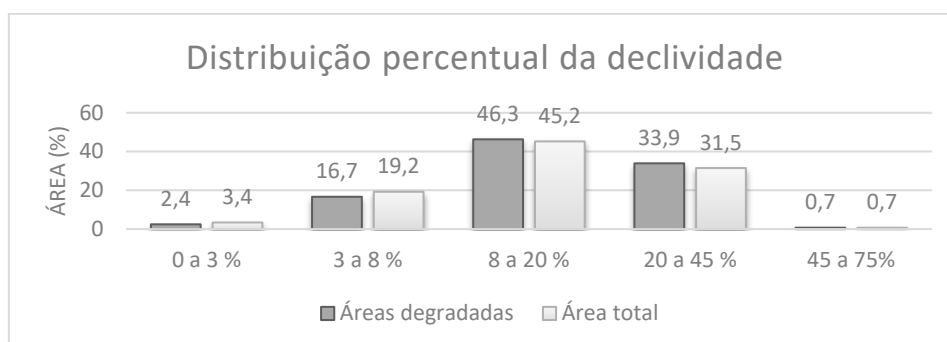


Figura 7 - Gráfico de distribuição percentual da declividade.

Para o indicador de declividade (Figura 7), as maiores diferenças absolutas ocorreram para a classe de 3% a 8%, onde o percentual de ocorrência de áreas degradadas é 2,5% inferior à ocorrência desta classe na extensão da área de estudo, e para a classe a de 20% a 45%, onde o percentual de ocorrência de áreas degradadas é 2,4% superior à ocorrência desta classe na

extensão da área de estudo. Essas diferenças estão em conformidade com os resultados obtidos por Crepani et al. (2001) e Zhang et al. (2015) que demonstram que há ocorrência de processos erosivos mais intensos em áreas de maiores declives.

Também estão de acordo com o disposto por Araújo et al. (2013) que avaliou a influência da

declividade sobre os processos erosivos que contribuem para a degradação ambiental identificando que as áreas com maiores declividades estão mais susceptíveis a essa ocorrência. Todavia vale observar que as áreas excessivamente declivosas (declividades maiores que 45%) estão mais protegidas por se enquadrarem como áreas de preservação permanente conforme disposto pela Lei 12.651, de 25 de maio de 2012.

Quanto à exposição ao Sol (Figura 8), para nenhuma das classes, houve diferença absoluta superior a 2%. A análise da figura 9 mostra que para o indicador de proximidade a áreas urbanas a maior diferença absoluta ocorreu para a classe maior que 600 m, onde o percentual de ocorrência de áreas degradadas é 8,3% superior à

ocorrência desta classe na extensão da área de estudo. Embora essa observação fuja do padrão esperado, conforme disposto por Ameen & Mourshed (2017), de maior ocorrência de degradação em localidades mais próximas a áreas urbanas, neste caso específico esse fato pode estar relacionado com a localização dos poços de exploração.

Já com relação ao indicador de proximidade a corpos d'água (Figura 10) a maior diferença absoluta ocorreu para a classe maior que 600 m onde o percentual de ocorrência de áreas degradadas é 2,7% superior a ocorrência desta classe na extensão da área de estudo. Essa diferença pode estar relacionada com a menor disponibilidade hídrica nas áreas mais afastadas dos corpos d'água.

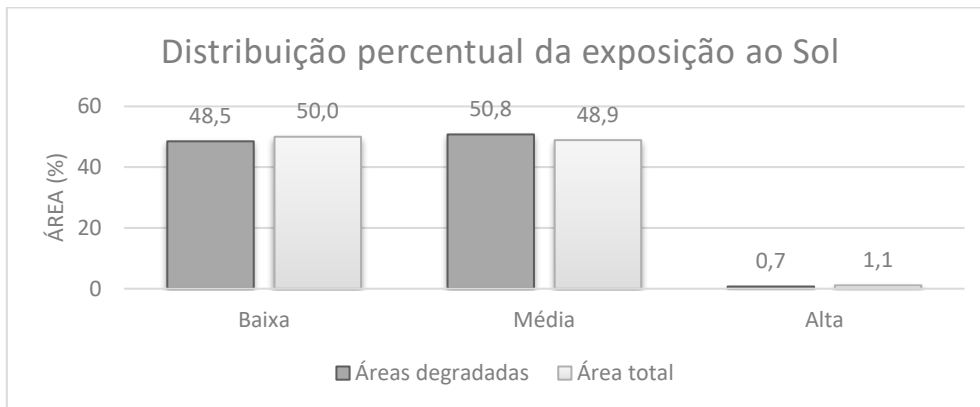


Figura 8 - Gráfico de distribuição percentual da exposição ao Sol.

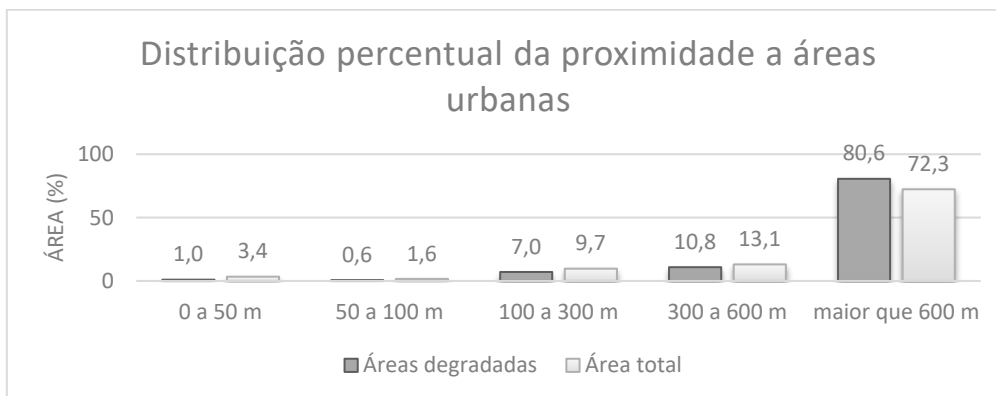


Figura 9 - Gráfico de distribuição percentual da proximidade a áreas urbanas.

Por fim, com relação ao indicador de proximidade a áreas de formação florestal (Figura 11), observa-se que não ocorreram grandes diferenças entre as classes analisadas. Entretanto, segundo Almeida (2016), a proximidade da área degradada a fragmentos florestais pode acelerar a regeneração natural da área através da migração de propágulos.

Para os indicadores cujas variáveis são quantitativas ou qualitativas ordinais, a exemplo da declividade, exposição ao Sol, proximidade a

áreas urbanas, proximidade a corpos d'água e proximidade a áreas de formação florestal, foi realizado o teste U de Mann-Whitney (teste estatístico não paramétrico utilizado para averiguar se a distribuição de uma variável contínua ou qualitativa ordinal é a mesma em duas populações independentes), considerando um nível de significância de 0,05%, conforme descrito na figura 12, a seguir.

Na figura 12, percebe-se que, para os indicadores de declividade, exposição ao Sol,

proximidade a áreas urbanas e proximidade a corpos d'água, há uma diferença estatisticamente significativa entre a distribuição de suas classes em áreas degradadas e áreas não degradadas.

Sendo assim, para esses indicadores, tem-se aceita a hipótese alternativa de que a distribuição de suas classes não é a mesma entre áreas degradadas e áreas não degradadas.

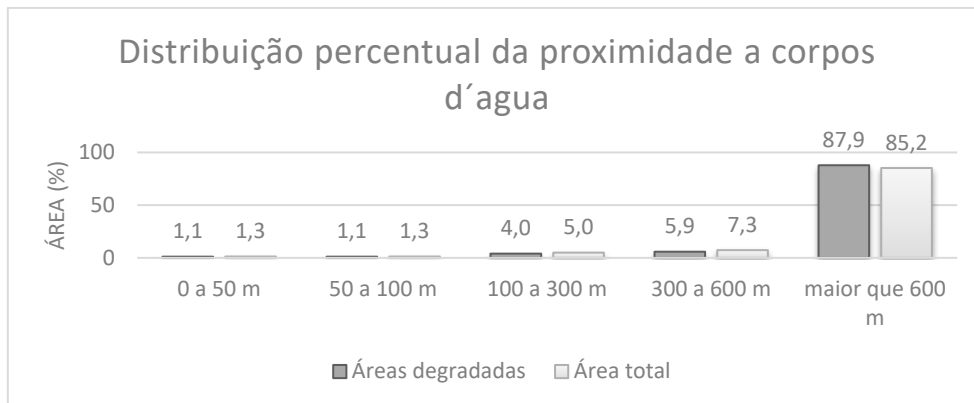


Figura 10 - Gráfico de distribuição percentual da proximidade a corpos d'água.

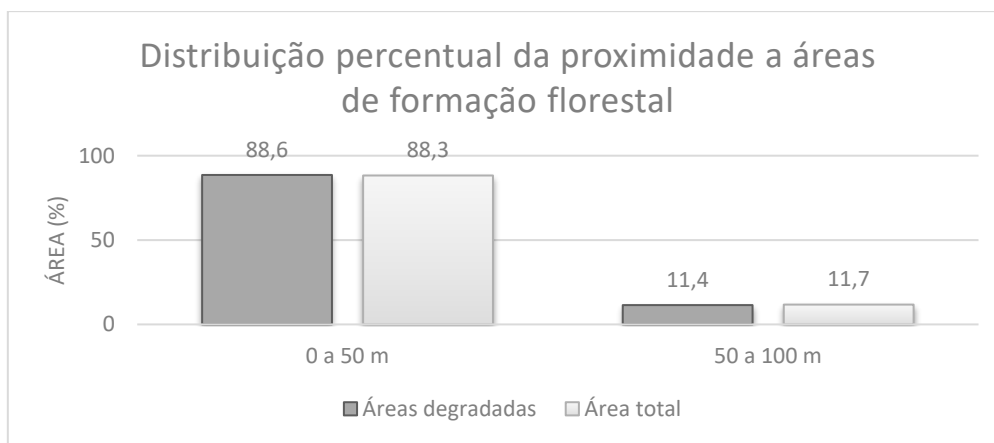


Figura 11 - Gráfico de distribuição percentual da proximidade a áreas de formação florestal.

Indicador	Hipótese nula	Decisão
Declividade	A distribuição das classes de declividade é a mesma entre áreas degradadas e áreas não degradadas	Rejeitar a hipótese nula
Exposição ao Sol	A distribuição das classes de exposição ao Sol é a mesma entre áreas degradadas e áreas não degradadas	Rejeitar a hipótese nula
Proximidade a áreas urbanas	A distribuição das classes de proximidade a áreas urbanas é a mesma entre áreas degradadas e áreas não degradadas	Rejeitar a hipótese nula
Proximidade a corpos d'água	A distribuição das classes de proximidade a corpos d'água é a mesma entre áreas degradadas e áreas não degradadas	Rejeitar a hipótese nula
Proximidade a áreas de formação florestal	A distribuição das classes de proximidade a áreas de formação florestal é a mesma entre áreas degradadas e áreas não degradadas	Aceitar a hipótese nula

Figura 12 - Teste U de Mann-Whitney.

CONCLUSÕES

A partir do mapa de favorabilidade foi possível perceber que existe uma concentração de áreas muito favoráveis na região da vizinhança do Rio Catu. No geral os centroides de áreas degradadas localizadas em regiões muito favoráveis tiveram uma representatividade

considerável ao longo da área de estudo, representando um total de 15% de toda a área. Se considerarmos o grupo das regiões de favorabilidade alta e muito alta, tem-se que essas áreas juntas somam um total de 57% de toda a área mapeada, o que representa uma quantidade

considerável de áreas que podem ser trabalhadas com maior chance de sucesso.

Observou-se que o conhecimento dos critérios e fatores que podem influenciar no estabelecimento de processos de degradação é muito importante pois serve como base para uma melhor tratativa processos. Os sistemas de informações geográficas se destacam como ferramenta bastante útil para a obtenção dessas informações por viabilizar a realização de análises espaciais e permitir o manuseio de diferentes camadas de informações a fim de identificar as características predominantes nessas regiões. As análises realizadas demonstraram um indicativo de não aleatoriedade na distribuição de áreas degradadas na área de estudo, isto porque, para alguns critérios analisados há uma diferença significativa no percentual de ocorrência de áreas degradadas em suas classes quando comparadas a área total

No que tange à geomorfologia percebeu-se uma tendência de menor ocorrência de áreas degradadas nas classes de relevo plano a colinoso, para a declividade percebeu-se uma tendência de menor ocorrência de áreas degradadas na classe de declividade que varia entre 3% a 8% e maior ocorrência na classe de declividade que varia entre 20 a 45%. Ao analisar a proximidade com áreas urbanas percebeu-se que há uma maior tendência de ocorrência de áreas degradadas em áreas com distancias maiores que 600 m as áreas urbanas. Neste caso específico, entende-se que esse resultado possa estar relacionado com a localização dos poços de exploração no campo de Água Grande, que não estão próximos das áreas urbanas. Para a proximidade com corpos d'água foi identificada uma maior ocorrência de áreas degradadas nas regiões com distância superior a 600 metros e para a proximidade a áreas de formação florestal não foram encontradas diferenças significativas na distribuição das áreas degradadas com relação as classes analisadas.

Com o prévio conhecimento dessas características a elaboração de projetos de recuperação posteriores pode ser mais assertiva, pois viabiliza a estruturação de um plano mais direcionado as particularidades da região garantindo a utilização de uma estratégia mais eficiente e eficaz. Com isso, pode-se melhor empregar os recursos utilizados e viabilizar a recuperação de um número maior de áreas. Além

disso, esse produto pode ser utilizado na etapa anterior à escolha dos locais de exploração para que, quando possível, sejam escolhidas áreas com maior potencial de recomposição, visando facilitar o processo posterior.

Tem-se, então, aceita a hipótese de pesquisa, visto que os resultados demonstraram que é possível gerar um mapa de favorabilidade à recomposição florestal em zonas tropicais degradadas por exploração de petróleo e gás *onshore* com base em dados *geospatial big data open access*.

Dentre os sete indicadores utilizados na pesquisa, foram identificados, de acordo com a opinião dos especialistas consultados, aqueles preferenciais para hierarquização de regiões mais ou menos favoráveis ao reflorestamento. O uso da terra, a proximidade com áreas de formação florestal e a proximidade a corpos d'água apareceram como os indicadores de maior impacto, obtendo peso máximo na construção do mapa, sendo este igual a 5. O uso da terra, que se destacou como um indicador de grande influência no processo, pode ter sua alta influência explicada, pois o uso da terra é um fator fundamental na definição de metodologias para o estabelecimento da recomposição florestal, bem como na quantidade de interferência necessária para o sucesso do processo.

A proximidade com áreas de formação florestal também teve importância acentuada, sendo áreas mais próximas consideradas mais favoráveis. Essa importância pode estar associada pelo fato de viabilizar o aumento da continuidade da vegetação preexistente e, como consequência, aumentar também as possibilidades de troca genética. A proximidade a corpos d'água também se mostrou bastante relevante, sendo consideradas as áreas mais próximas aos corpos d'água mais adequadas. Essa preferência pode ser justificada devido ao fato de a água ser essencial para o desenvolvimento e a manutenção da vegetação. Além disso, tem-se também a maior necessidade de proteção nessas áreas devido à presença dos recursos hídricos.

Em seguida, obtendo peso 4, vem o indicador declividade. Neste caso, as áreas com declives um pouco mais acentuados foram consideradas mais adequadas. Um fator que pode justificar essa preferência é a maior necessidade de proteção ao solo nessas áreas. Também entra

nesta questão a maior dificuldade de mecanização para a implantação do processo produtivo em áreas com declives mais acentuados. Por fim, obtendo peso 3, tem-se os indicadores de proximidades com áreas urbanas, geomorfologia e intensidade de exposição ao Sol.

Para as áreas urbanas, foi considerado que quanto mais distante, melhor; para a geomorfologia foram preferidas as classes de relevo plano a colinoso e planalto; e com relação a intensidade a exposição ao Sol foi considerado que quanto mais baixa, melhor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da análise de decisão multicritério com a consulta de opinião a especialistas foi considerada como uma boa opção para a categorização da favorabilidade. O método de decisão multicritério baseado em SIG pôde ser destacado como um método que possui elevado potencial de aplicação e agrega valor ao planejamento e gestão do meio ambiente por permitir analisar e trabalhar com as mais diversas camadas de informações existentes gerando como resultado um produto que sirva como subsídio para nortear a tomada de decisão.

Deve-se compreender que uma vez conhecida as áreas mais favoráveis a recomposição florestal é importante que, posteriormente, seja realizada uma análise de prioridade a recomposição. Essa análise visa identificar quais áreas precisam de uma intervenção mais urgente considerando que são mais importantes do ponto de vista ambiental como, por exemplo, as áreas de nascentes. Desta forma, pode-se garantir uma melhor destinação dos recursos e um maior ganho para o meio ambiente. Ressalta-se muitos outros indicadores podem ser utilizados na determinação a favorabilidade a recomposição florestal. Dentre eles, pode-se citar, por exemplo, a litologia, as zonas hidrogenéticas, o tipo de solo, a exposição ao vento, a forma do terreno, histórico do uso e cobertura da terra e o histórico de degradação. Neste estudo, devido as limitações de tempo e de dados, visto que o principal objetivo foi trabalhar exclusivamente com dados abertos oriundos do

sensoriamento remoto, esses indicadores não foram considerados.

Existe a necessidade da realização de outras pesquisas que visem obter a validação dos resultados obtidos neste trabalho. Entende-se que um possível caminho para essa validação seria a iniciação das atividades de reflorestamento em áreas com diferentes níveis de favorabilidade a afim de observar se, de fato, esses processos tendem a ocorrer com maior facilidade nas áreas com maiores níveis de favorabilidade. Outro caminho seria o acompanhamento temporal das áreas mais favoráveis com o intuito de verificar se já existem processos de recuperação que foram naturalmente iniciados nessas regiões.

Com o uso de *geospatial big data open access* é possível replicar a metodologia proposta nesta pesquisa em qualquer região e assim oferecer um subsídio para a escolha estratégica de áreas candidatas ao reflorestamento. Sugere-se que sejam realizados trabalhos com o objetivo de desenvolver um código no *Google Earth Engine* a fim de otimizar a geração do mapa de favorabilidade. Os critérios envolvidos, bem como as definições dos pesos e notas, podem variar de acordo com as particularidades de cada região. No entanto, é preciso atentar-se para a qualidade dos dados que serão utilizados como base para a construção do modelo, visto que quaisquer inconsistências existentes nos dados de entrada que não sejam tratadas serão propagadas para o resultado final.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D.S. Modelos de recuperação ambiental. In: **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**, 3a ed. Ilhéus, Bahia: Editus, 2016. Disp. em: <http://books.scielo.org/id/8xvf4/pdf/almeida-9788574554402-09.pdf>. Acessado em 14 de outubro 2020.
- AL-RUZOUQ, R & AL-RAWASHDEH, S. Geomatics for Rehabilitation of Mining Area in Mahis, Jordan. **Journal of Geographic Information System**, v. 6, p. 123-134, 2014.
- AMEEN, R.F.M. & MOURSHED, M. Urban environmental challenges in developing countries-A stakeholder perspective, **Habitat International**, v. 64. 2017.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disp. em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/5809-anuario-estatistico-2020>. Acesso em: 22 ago. 2020.
- ARAÚJO, I.N.F.; MELO, J.F.G.; MARINHO, A.P.F.; SILVA, R.D.; RIBEIRO, A.C.S.; CUNHA, G.K.G.; CUNHA, K.P.V. Influência da declividade na erosão e degradação ambiental do Médio Piranhas Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, v. 6. Natal. 2018. **Anais...Natal: Congestas**, 2018. v. 6.
- BARBOSA, M.S.A. **Recomposição florestal de área de preservação permanente no bairro grama em juiz de fora – MG**. 2017. Trabalho Final de Curso. Faculdade de Engenharia da UFJF. 2017.
- BAYLÃO JUNIOR, H.F. **Análise da restauração florestal espontânea a partir dos efeitos de nucleação da Guarea guidonia (L.) Sleumer na vertente atlântica da Serra do**

- Mar, Pirai, RJ – Brasil. Seropédica, 2014. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.
- BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 2000. Disp. em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 21 ago. 2020.
- BRASIL. **Resolução nº 237, de 1997.** Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental. Disp. em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 18 jun. 2020.
- CANDIDO, H. G; BARBOSA, M. P.; SILVA, M. J. Avaliação da degradação ambiental de parte do Seridó Paraibano. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 6, n. 2, 2002.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos, INPE, 2001.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.
- GURGEL, C.A.V; QUEIROZ, G.B.; SANTOS, E.L.S.C.; GALVÃO, M.L.M. Impactos de extração do petróleo (óleo e gás) no Rio Grande do Norte, na região do Alto do Rodrigues/RN. **HOLOS**, ano 29, v. 3, 2013.
- LEE, J. & KANG, M. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. **Big Data Research**, v. 2, p. 74-81, 2015.
- LI, S.; DRAGICEVIC, S.; ANTON, F.; SESTER, M.; WINTER, S.; COLTEKIN, A.; CHENG, T. Geospatial Big Data Handling Theory and Methods: A Review and Research Challenges. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 115, p. 119-133, 2016.
- LI, Z. Geospatial Big Data Handling with High Performance Computing: Current Approaches and Future Directions. **High Performance Computing for Geospatial Applications**. Publisher: Springer 2019.
- MACEACHREN, A.M. & KRAAK, M. Research challenges in geovisualization. **Cartography and Geographic Information Systems**, v. 28, n. 1, 2001, p.3-12.
- PETROBRAS. **Mapeamento Geoambiental dos Campos de Produção Ativo Sul, Bacia do Recôncavo.** Editora: E&P, Salvador. V. 1. Junho, 2009.
- ROBINSON, A.; DEMŠAR, U.; MOORE, A.; BUCKLEY, A.; JIANG, B.; FIELD, K; M, K.; CAMBOIM, S.; SLUTER, C. Geospatial big data and cartography: research challenges and opportunities for making maps that matter. **International Journal of Cartography**, v. 3, n. sup. 1, p. 32-60, 2017.
- ROCHA JÚNIOR, P.R.; SILVA, V.M.; GUIMARÃES, G.P. Degradação de pastagens brasileiras e técnicas de recuperação. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer Goiânia, v. 9, n. 17, 952-968, 2013.
- SA, I.B.; RICHE, G.R.; FOTIUS, G.A. As paisagens e o processo de degradação do semi-árido nordestino. In: SILVA J.M.C, TABARELLI M, FONSECA M.T, LINS L.V. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco. 2004. Disp. em: http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/O PB1733.pdf. Acessado em 14 de outubro de 2020.
- SEABRA, V.S. **Análise da paisagem em apoio aos estudos de favorabilidade à recuperação florestal na bacia hidrográfica do rio São João.** Rio de Janeiro, 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia.
- ZHANG, Z.; SHENG, L.; YANG, J.; CHEN, X.; KONG, L.; WANGAN, B. Effects of land use and slope gradient on soil erosion in a red soil hilly watershed of southern China. **Sustainability**, v. 7, 2015.

*Submetido em 6 de janeiro de 2021
Aceito para publicação em 4 de abril de 2021*